

**VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky**

**Solární systémy pro obytné domy
Solar Systems for Residential Buildings**

2013

Bc. Jakub Rastočný

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Jakub Rastočný

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907T001 Elektroenergetika

Téma:

Solární systémy pro obytné domy
Solar Systems for Residential Buildings

Zásady pro vypracování:

1. Obnovitelné zdroje vhodné pro zásobování obytných domů energií.
2. Energetická bilance vybraného obytného domu.
3. Návrh solárního systému u obytného domu pro pokrytí spotřeby elektřiny, přípravu TUV a přitápění.
4. Způsob zapojení solárního systému do stávajících rozvodů domu.
5. Ekonomické zhodnocení, návratnost investice do navrženého solárního systému.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Bartoš, V.: Obnovitelné zdroje energií, Grada Publishing, Praha, 2010
2. Srdečný, K.: Energeticky soběstačný dům - realita či fikce?, Brno, 2007
3. Petráš, D.: Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie, Bratislava, 2008
4. Dufka, J.: Vytápění netradičními zdroji tepla, BEN – technická literatura, Praha, 2003.
5. Dufka J.: Vytápění domů a bytů, Grada Publishing, 2.vydání, Praha, 2004.
6. Murtinger, K.: Fotovoltaika : elektrická energie ze slunce, Praha, 2009
7. Navrátilová, J. M.: Kombinovaný systém vytápění a ohřevu teplé vody pro rodinný dům, Dip.práce, Ostrava, 2010
8. Appel, J.: Využitelnost obnovitelných zdrojů v bytovém domě, Bak.práce, Ostrava, 2011
9. Smoček, M.: Návrh vytápění rodinného domu tepelným čerpadlem, Dip.práce, Ostrava, 2011
10. Šrámek, J.: Návrh vytápění rodinného domu tepelným čerpadlem, Dip.práce, Ostrava, 2010
11. Zach, P.: Návrh vytápění rodinného domu v závislosti na ekonomice provozu, Dip.práce, Ostrava, 2009
12. www stránky i-EKIS: <http://www.i-ekis.cz/?page=zdroje>

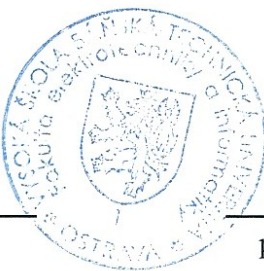
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Moldřík, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry

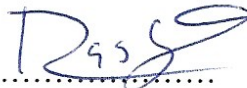


prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta:

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne 2.5.2013

Podpis.....

Poděkování:

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Petru Moldříkovi, Ph.D. za odbornou pomoc, připomínky a cenné rady při zpracovávání této diplomové práce.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá návrhem solárních systémů pro vytápění, přípravu TUV a výrobu elektrické energie v obytném domě.

První část diplomové práce popisuje různé typy obnovitelných zdrojů energie vhodných pro zásobování obytného domu energií.

Druhá část je zaměřená na výpočet energetické bilance již vybraného obytného domu, která je potřebná k návrhu solárních systémů. V této části se nachází také popis zvoleného objektu a krátké objasnění, co energetická bilance je.

Třetí část se již zabývá návrhem solárního systému s kolektory pro ohřev TUV a přitápění i fotovoltaickým systémem pro výrobu elektřiny.

Čtvrtá část řeší zapojení těchto solárních systémů do stávajících rozvodů řešeného objektu podle potřeb majitele.

V poslední části se nachází ekonomické zhodnocení solárních systémů a jejich návratnost investice.

Abstract

This work describes the solar systems proposal for heating, warm utility water preparation and electricity production in a residential house.

In the first part there are different types of the renewable energy sources introduced, which are suitable as an energy supply in a residential house.

The second part is concentrating on the energetic balance calculation of the chosen residential house. The calculation is needed for the solar systems proposal. There is also the property description and the energetic balance explanation.

The third part is describing the solar system proposal with collectors for warm utility water heating and additional heating using the photovoltaic system for energy production.

The fourth part deals with the connection of these solar systems into the existing energy distribution of the chosen property taking into consideration the owner's requirements.

In conclusion there is the economic evaluation of solar systems and the return of the investment.

Klíčová slova

Slunce, energie, elektřina, ohřev, fotovoltaický panel, solární kolektor, vytápění, ztráta, obnovitelný zdroj,

Key Words

Sun, energy, electricity, warming, photovoltaic panel, solar collector, heating, loss, renewable source

Seznam použitých symbolů a zkratek

a_1	[W/(m ² K)]	lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru
a_2	[W/(m ² K ²)]	kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru
AC		Střídavý proud
A_j	[m ²]	plocha j-té ochlazované konstrukce
A_k	[m ²]	plocha apertury solárních kolektorů
AM		spektrální hustota zářivého toku
A_{sin}	[m ²]	solární účinná osluněná plocha povrchu s j orientací
A_{sol}	[m ²]	účinná solární plocha zasklení
atd.		a tak dále
b	[-]	zmenšující faktor podle normy EN ISO 13789
B_j	[-]	činitel teplotní redukce j-té konstrukce
c	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	měrná tepelná kapacita
c	[km/s]	rychlost světla
C_D	[%]	hloubka povoleného vybití baterie
cp	[Kč]	cena palivového dříví
C_R	[Ah]	kapacita baterie
ČHMÚ		Český hydrometeorologický ústav
d	[-]	počet dní otopného období
d	[dny]	délka topného období
DC		Stejnoseměrný proud
DPH		Daň z přidané hodnoty
E	[kWh]	energie
E	[W/m ²]	intenzita slunečního záření
E_d	[kWh]	průměrná denní výroba elektřiny z FV panelů
E_m	[kWh]	průměrná měsíční výroba elektřiny z FV panelů
ERÚ		Energetický regulační úřad
EVA		Etylen – Vinyl Acetátového kopolymeru
f	[-]	solární pokrytí potřeby tepla
FV		Fotovoltaika
FVE		Fotovoltaická elektrárna
G_m	[kWh/m ²]	celková měsíční energie globálního slunečního záření
$G_{T,m}$	[W/m ²]	střední sluneční ozáření
H	[W/K]	měrná tepelná ztráta budovy
H_T	[W/K]	měrná tepelná ztráta prostupem tepla
H_V	[W/K]	měrná tepelná ztráta větráním
I_{GENmax}	[A]	proud dodávaný FV generátorem
i_{LV}	[m ² .s ⁻¹ .Pa.10 ⁴]	součinitel spárové průvzdušnosti
I_{SC}	[A]	zkratový proud FV panelu
I_{sj}	[J/m ²]	celková energie globálního záření
k	[-]	korekční součinitel
K_D	[-]	navrhovaná rezerva
k_u	[V.K ⁻¹]	teplotní koeficient napětí naprázdno FV panelu
n	[-]	počet FV panelů ve větvi
N	[dny]	počet pracovních dní soustavy v roce
N_B	[-]	počet baterií zapojených paralelně
n_d	[-]	počet dávek
n_j	[-]	počet jídel
n_p	[h ⁻¹]	intenzity přirozené výměny vzduchu
N_{SSaKK}	[Kč]	roční náklady na přípravu TUV a vytápění
n_u	[-]	počet (výměr) ploch

OZE		Obnovitelné zdroje energie
p	[-]	hodnota srážky z tepelných zisků vlivem tepelných ztrát soustavy
p	[-]	počet větví
P	[W]	příkon
p_d	[-]	součinitel prodloužení doby dávky
$PDVN$	[-]	počet dní v měsíci
P_{NL}	[W]	střední zatížení elektrického vedení během noci
PR	[%]	podíl rámu
q	[-]	propustnost
q	[kg/m ³]	měrná hmotnost
Q	[kWh]	teplo dodané do vytápění
Q_I	[kWh]	celková tepelná ztráta
$Q_{\check{c}er,r}$	[kWh]	spotřeba elektrické energie pro oběhové čerpadla za rok
$Q_{el.,r}$	[kWh]	celková spotřeba elektrické energie za rok
$Q_{el.s cel,r}$	[kWh]	celková spotřeba elektrické energie všech el. spotřebičů za rok
$Q_{el.s,d}$	[kWh]	spotřeba elektrické energie pro el. spotřebiče za den
$Q_{el.s,r}$	[kWh]	spotřeba elektrické energie pro el. spotřebiče za rok
Q_g	[kWh]	celkový tepelný zisk
Q_h	[kWh]	celková potřeba tepla
Q_i	[kWh]	vnitřní tepelný zisk
$q_{k,u}$	[kWh/m ²]	teoretický zisk solárních kolektorů
Q_{max}	[W]	maximální tepelná ztráta budovy
$Q_{osv,d}$	[kWh]	spotřeba elektrické energie pro osvětlení za den
$Q_{osv,r}$	[kWh]	spotřeba elektrické energie pro osvětlení za rok
$Q_{p,c}$	[kWh]	celková potřeba tepla v daném měsíci
$Q_{r,vyp}$	[J.r ⁻¹]	roční spotřeba tepla pro vytápění
Q_s	[J]	solární tepelný zisk
Q_s	[kWh]	solární tepelný zisk
$Q_{ss,u}$	[kWh]	využitelný tepelný zisk solární soustavy
Q_T	[kWh]	tepelná ztráta prostupem
$Q_{TUV,d}$	[kWh]	denní potřeba tepla pro ohřev TUV
$Q_{TUV,r}$	[kWh/rok]	roční potřeba tepla pro ohřev TUV
Q_V	[kWh]	tepelná ztráta větráním
R	[(m ² .K)/W]	odpor konstrukce
RD		Rodinný dům
R_{se}	[(m ² .K)/W]	odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce
R_{si}	[(m ² .K)/W]	odpor při prostupu tepla na vnitřní straně konstrukce
SZ		Světelný zdroj
t	[s]	délka výpočtového období
T_0	[K]	vypařovací teplota
t_1	[°C]	teplota studené vody
t_2	[°C]	teplota ohřáté vody
t_a	[°C]	venkovní teplota absorbérů
TČ		Tepelné čerpadlo
T_d	[h]	doba dávky
t_e	[°C]	teplota exteriéru
$t_{e,s}$	[°C]	průměrná venkovní teplota v době slunečního svitu
t_i	[°C]	teplota interiéru
tj.		to je
T_k	[K]	kondenzační teplota
$t_{k,m}$	[°C]	průměrná teplota teplotonosné kapaliny v průběhu dne
t_m	[°C]	střední teplota absorbérů
t_{svl}	[°C]	teplota studené vody v létě
t_{svz}	[°C]	teplota studené vody v zimě

TUV		Teplá užitková voda
tzv.		takzvaně
ΔU_{tbn}	[W/(m ² .K)]	průměrný vliv tepelných vazeb mezi ochlazovanými konstrukcemi
U	[W/(m ² .K)]	součinitel prostupu tepla
U_{0C}	[V]	napětí naprázdno FV panelu
U_B	[V]	střední napětí baterie
U_{GENmax}	[V]	napětí FV generátoru
U_j	[W/(m ² .K)]	součinitel prostupu tepla j-té konstrukce
U_o	[m ³ .h ⁻¹]	objemový průtok
UV		Ultrafialové
V_{2P}	[m ³]	celkový objem potřeby TUV
V_{aku}	[l]	objem zásobníku
V_d	[m ³]	objem dávky
VE		Větrná elektrárna
$V_{EN,min}$	[l]	minimální objem expanzní nádoby
V_i	[m ³ .h ⁻¹]	objemový tok vzduchu
V_j	[m ³]	objem pro mytí nádobí
V_k	[l]	objem solárních kolektorů
V_{mi}	[m ³]	celkovým objemem místnosti
V_{np}	[m ³]	objem hygienické výměny vzduchu
V_o	[m ³]	objem pro mytí osob
V_s	[l]	objem teplotnosné látky ve studeném stavu
V_{soust}	[l]	objem soustavy
V_u	[m ³]	objem pro úklid
vyp.		vypnuto
W	[W]	užitečný výkon
z	[-]	koeficient energetických ztrát,
zap.		zapnuto
α	[-]	koeficient absorpce
β	[-]	součinitel objemové roztažnosti teplotnosné látky
ε	[-]	opravný součinitel nesoučasnosti tepelné ztráty infiltrací
ε	[-]	topný faktor
ϕ	[lm]	světelný tok
Φ	[W]	tepelný zisk nebo tepelná ztráta
Φ_i	[W]	průměrná energie vnitřních tepelných zisků
Φ_{ih}	[W]	průměrná energie vnitřních tepelných zisků ve vytápěném prostoru
Φ_{iu}	[W]	průměrná energie vnitřních tepelných zisků v nevytápěném prostoru
η	[-]	faktor využití
η	[-]	měrný výkon
η_k	[-]	účinnost solárního kolektoru
η_k	[-]	účinnost solárního kolektoru
η_0	[-]	účinnost solárního kolektoru při nulovém teplotním spádu
η_{PK}	[-]	účinnost plynového kotle
λ	[W/m.K ⁻¹]	součinitel tepelné vodivosti
θ_e	[°C]	nejnižší výpočtová venkovní teplota
θ_e	[°C]	průměrná venkovní teplota během výpočtového období
$\theta_{e,pr}$	[°C]	průměrná teplota venkovního vzduchu v topném období
θ_i	[°C]	požadovaná výpočtová vnitřní teplota
θ_i	[°C]	vnitřní požadovaná teplota
τ	[-]	koeficient propustnosti zasklení
τ_N		délka noci

OBSAH

1. Úvod	1
2. Obnovitelné zdroje vhodné pro zásobování obytných domů energií	2
2.1. Co je obnovitelný zdroj energie	2
2.2. Sluneční energie – ohřev vody a vzduchu	3
2.2.1. Přírodní podmínky	3
2.2.2. Základní části a rozdělení solárních systémů	4
2.2.3. Solární kolektor	4
2.2.4. Solární zásobník	7
2.2.5. Regulační zařízení	7
2.2.6. Pasivní a aktivní systémy pro ohřev teplé vody	7
2.2.7. Pasivní a aktivní systém pro vytápění	9
2.2.8. Zásady dimenzování	11
2.3. Sluneční energie – výroba elektřiny	12
2.3.1. Přírodní podmínky	12
2.3.2. Základní části a rozdělení fotovoltaických systémů	12
2.3.3. FV solární systémy ostrovní a připojené na síť	13
2.3.4. Popis solárního článku a jeho základní typy	14
2.3.5. Fotovoltaický panel	14
2.3.6. Měnič proudu	15
2.3.7. Akumulace	16
2.3.8. Regulátory nabíjení	16
2.3.9. Záložní zdroj	17
2.3.10. Zásady dimenzování	17
2.4. Větrná energie – Malé větrné elektrárny	18
2.4.1. Přírodní podmínky	18
2.4.2. Stručný princip funkčnosti a popis VE	18
2.4.3. Základní typy VE pro soukromé využití	19
2.4.4. Zásady dimenzování	19
2.5. Energie prostředí a geotermální - Tepelná čerpadla	20
2.5.1. Princip tepelného čerpadla (kompresorového)	20
2.5.2. Topný faktor TČ	20
2.5.3. Zdroje tepla pro TČ	21
2.5.4. Dělení systému TČ	21
2.6. Energie biomasy – využití v obytných domech	22
2.6.1. Získání energie z biomasy (Spalování, zplynování)	22
2.6.2. Rozlišení biomasy podle obsahu vody	22
2.6.3. Druhy paliv	22
2.6.4. Kotle	22
3. Energetická bilance vybraného obytného domu	23
3.1. Popis zvoleného objektu	23
3.2. Co je energetická bilance domu a jak jí sestavit	24
3.3. Energie potřebná pro vytápění	25
3.3.1. Tepelné ztráty	25
3.3.2. Tepelné zisky	26
3.3.3. Potřeba tepla na vytápění	26
3.3.4. Výpočet tepelné ztráty zvoleného objektu	27
3.3.5. Výpočet potřeby tepla na vytápění zvoleného objektu	32
3.4. Energie potřebná pro TUV	35
3.4.1. Požadavky na TUV	35
3.4.2. Vztahy pro různé potřeby TUV	35

3.4.3.	Potřeba tepla na TUV	37
3.4.4.	Výpočet potřeby tepla na TUV pro zvolený objekt	38
3.5.	Energie potřebná pro osvětlení a el. spotřebiče	39
3.5.1.	Osvětlovací soustava v obytných domech	39
3.5.2.	Návrh a výpočet spotřeby osvětlovací soustavy v řešeném objektu	40
3.5.3.	Problematika spotřeby el. spotřebičů	41
3.5.4.	Návrh a výpočet spotřeby el. spotřebičů v řešeném objektu	41
3.5.5.	Navrhovaná celková spotřeba elektrické energie	43
3.6.	Energie spotřebovávaná řešeným objektem	43
4.	Návrh solárního systému u obytného domu pro přípravu TUV, přitápění a spotřebu elektřiny	44
4.1.	Úvaha o využití solárních kolektorů a fotovoltaických panelů v řešeném objektu	44
4.2.	Návrh solárního systému pro přípravu TUV a přitápění	45
4.2.1.	Prvky solární soustavy a jejich návrh	45
4.2.2.	Stanovení plochy kolektorů	46
4.2.3.	Stanovení velikostí zásobníku a expanzní nádoby	48
4.2.4.	Výpočet plochy kolektorů pro TUV a přitápění v řešeném objektu	49
4.2.5.	Stanovení počtu kolektorů a jednotlivých částí systému	52
4.2.6.	Energetické hodnocení solárního systému pro přitápění a ohřev TUV	53
4.3.	Návrh fotovoltaického systému v daném objektu	55
4.3.1.	Světelné podmínky pro řešený objekt	55
4.3.2.	Prvky fotovoltaického systému	56
4.3.3.	Stanovení počtu a rozmístění FV panelů	57
4.3.4.	Výpočet parametrů FV generátoru a určení střídače	58
4.3.5.	Odhad výroby elektrické energie za rok	60
4.3.6.	Návrh ochranných prvků pro FV systém	62
5.	Způsob zapojení solárního systému do stávajících rozvodů domu	64
5.1.	Způsob zapojení solárního systému pro ohřev TUV a přitápění v řešeném objektu	64
5.1.1.	Popis objektu před využitím solárních kolektorů	64
5.1.2.	Zapojení solárního systému v obytném domě	66
5.2.	Způsob zapojení fotovoltaického systému v řešeném objektu	67
5.2.1.	Popis objektu před využitím fotovoltaických panelů	67
5.2.2.	Zapojení fotovoltaických panelů do příslušných větví	67
5.2.3.	Schéma zapojení FV systému	68
6.	Ekonomické zhodnocení, návratnost investice do navrženého solárního systému	70
6.1.	Ekonomické zhodnocení a návratnost solárního systému pro ohřev TUV a přitápění	70
6.2.	Ekonomické zhodnocení a návratnost fotovoltaického systému	72
7.	Závěr	75
8.	Použitá literatura	76
	Seznam obrázků a grafů	79
	Seznam tabulek	80
	Seznam příloh	80

1. Úvod

Tato práce řeší využití solárního systému v obytném domě, a proto se logicky první kapitola zabývá obnovitelnými zdroji vhodnými pro zásobování obytných domů. V této kapitole je nejdříve popsáno, co to vlastně obnovitelný zdroj energie je a následně jsou popsány jednotlivé typy vhodných obnovitelných zdrojů. Možností, jak využít OZE je spousta, ale v této práci bude využito sluneční záření pro vytápění, přípravu TUV a výrobu elektřiny. Z tohoto důvodu je této problematice věnováno více stránek a ostatní typy OZE jsou probrány spíše okrajově.

Další kapitola je věnována energetické bilanci řešeného objektu, jelikož tyto údaje jsou potřebné pro vhodný návrh solárních systémů. Aby se správně vypočetla energetická bilance, tedy stanovení kolik energie řešený objekt potřebuje na vytápění, TUV a elektřinu. Z tohoto důvodu je třeba vše důkladně prokonzultovat s majitelem objektu a znát přesné parametry řešeného objektu.

Následující kapitola již řeší návrh solárního systému pro přitápění a ohřev TUV v první části a v druhé návrh fotovoltaického systému. U systému pro přitápění a ohřev TUV se nejdříve určí potřebná plocha kolektoru pro dané požadavky a následně se navrhne systém tak, aby tyto požadavky pokryl. U fotovoltaického systému pro výrobu elektřiny se vychází jednak z velikosti střechy a odhadované potřeby, ale taky z vyhlášky č. 347/2012 Sb. Ta stanovuje výkupní ceny vyrobené FVE a maximální investiční náklady na instalovaný výkon.

Po návrhu solárních systémů je zapotřebí určit způsob napojení do stávajících rozvodů řešeného domu, což popisuje další kapitola. Je v ní popsáno a zakresleno jak napojit solární systém s kolektory do topného okruhu domu i schéma fotovoltaické elektrárny vytvořené z části střechy.

V poslední z kapitol, která řeší solární systémy v této práci je provedeno ekonomické zhodnocení a návratnost investic jak fotovoltaického systému, tak i solárního systému s kolektory.

2. Obnovitelné zdroje vhodné pro zásobování obytných domů energií

2.1. Co je obnovitelný zdroj energie

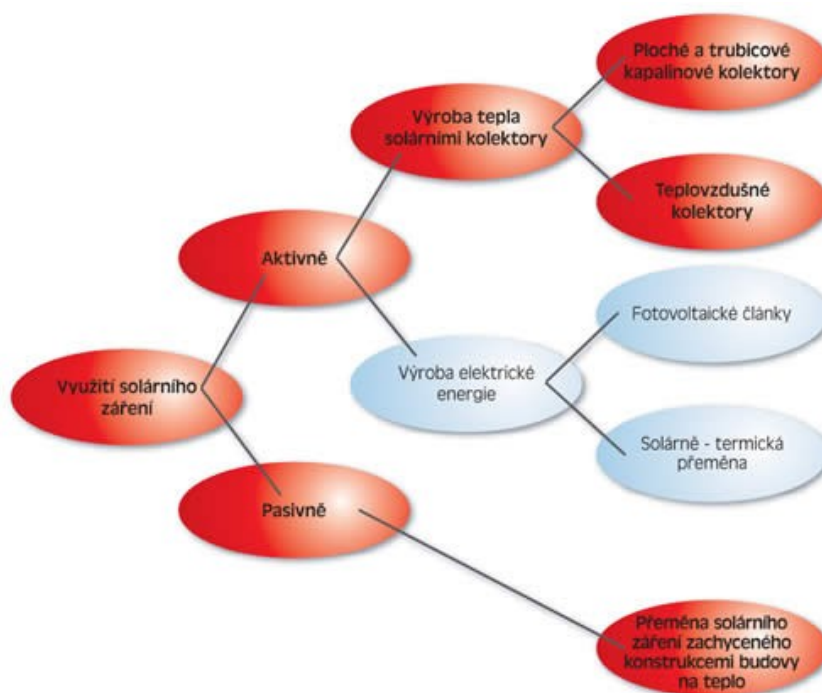
Obnovitelný zdroj energie je takový zdroj energie, který prostřednictvím vhodných zařízení dodává lidem energii tak, aby uspokojil jejich potřeby. Přitom nedochází k spotřebě zásoby paliv, které vznikly vlivem dávných přírodních procesů. Jedná se zejména o fosilní spalitelné materiály (ropa, plyn, uhlí), štěpné (radioaktivní) látky a vodík vázaný ve vodě.

Používané sousloví „obnovitelný zdroj energie“ občas vede k nejasnostem díky zmíněné vazbě „zdroj energie“, kterou lze chápat dvojím způsobem. Jestliže chápeme zdroj energie jako určitou kvantitativně stanovenou zásobu, tak je pouze vyčerpatelný, a tudíž nemůže být obnoven. Z logického hlediska je tedy jakýkoliv zdroj energie neobnovitelný. Krásně je to vidět na příkladu vodního pramene, který stále vytéká (OZE), ale činí tak díky zásobníku spodní vody (skutečný zdroj).

Obnovitelné zdroje energie v podstatě využívají energii slunečního zářivého toku dvojím způsobem:

- nepřímá solární energetika: voda, vítr, biomasa;
- přímá solární energetika: pasivní systémy, aktivní systémy. [2]

Na obrázku 2.1.1 pod textem je znázorněné, jak se využívá přímá solární energie a jednotlivé metody jsou popsány v následujících dvou podkapitolách (2.2 a 2.3). Nepřímou solární energetikou se v této diplomové práci zabývat nebudeme.



Obr. 2.1.1 Blokové schéma využití solárního záření ¹

¹ Zdroj: <<http://www.i-ekis.cz/?page=slunce-teplo>> [cit.2012-10-30]

2.2. Sluneční energie – ohřev vody a vzduchu

K přeměně slunečního záření na teplo (tzv. fototermální přeměna) může dojít pomocí pasivních solárních prvků (prosklené fasády, zimní zahrady) nebo aktivních solárních prvků (přídavné technické zařízení).

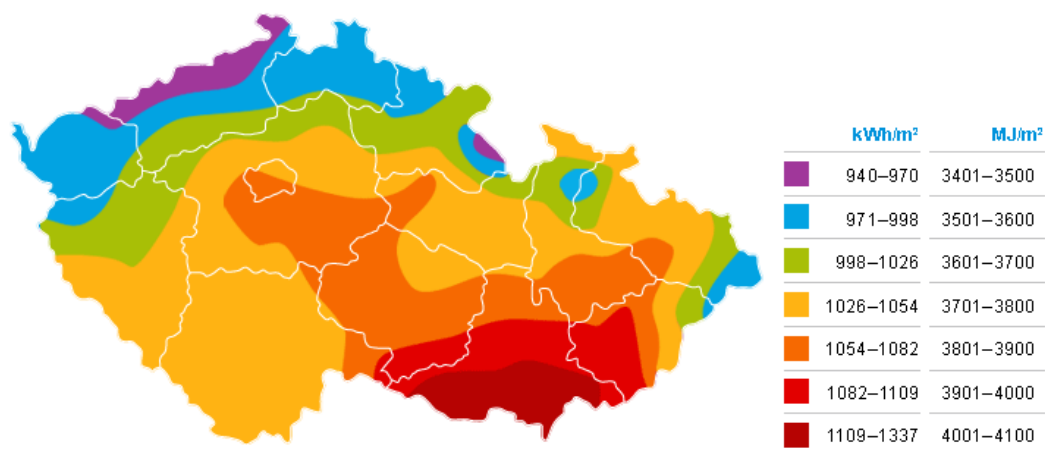
Množství získané energie závisí na typu solárního systému, přírodních podmínkách, architektonickému řešení budov a na druhu budov (např. dřevostavba, cihlová budova). [1]

2.2.1. Přírodní podmínky

Dopadající sluneční záření na plochu naší Země pod vrstvou atmosféry je složeno z přímého a z rozptýleného (difuzního) záření. Přímé sluneční záření je díky velké vzdálenosti svazek prakticky rovnoběžných paprsků, které vyzařují ze slunečního disku. Rozptýlené sluneční záření vzniká následkem rozptylu části přímého slunečního záření na vodních kapkách, ledových krystalcích, různých aerosolových částicích a hlavně na molekulách plynných složek vzduchu. Rozptýlené záření tvoří světlo oblohy ve dne.

Základní veličinou popisující přímé sluneční záření je intenzita I , která udává množství energie dopadající za jednotku času na jednotkovou plochu směřující kolmo k slunečním paprskům. Důležitá je solární konstanta I^* s hodnotou 1367 W.m^{-2} , udávající intenzitu slunečního záření na hranici zemské atmosféry ve střední vzdálenosti Slunce – Země. [1]

V ČR se průměrný počet hodin solárního svitu (žádná oblačnost) pohybuje kolem 1460 h.rok^{-1} ($1400 - 1700 \text{ h.rok}^{-1}$). Na obrázku 2.2.1.1 níže lze vidět globální sluneční záření dopadající na vodorovnou plochu $1 \text{ m}^2.\text{rok}^{-1}$, z které si lze udělat představu o množství využitelné sluneční energie. U oblastí se silně znečištěnou atmosférou se počítá s poklesem záření 5-10 % (někdy 15-20 %). Naopak oblasti s nadmořskou výškou 700 – 2000 m. n. m. se počítá s nárůstem globálního záření až 5 %. [21]



Obr. 2.2.1.1. Roční průměrné sumy globálního záření.²

Na povrch ČR dopadne za rok přibližně 1100 kWh.m^{-2} energie. Pomocí kapalinových kolektorů můžeme dosáhnout ročního zisku $300 - 800 \text{ kWh.m}^{-2}$. Zisky se značně liší v jednotlivých měsících v průběhu roku. Pro reálné odhady hrubé výroby energie v podmínkách ČR uvažujeme průměrnou roční výrobu $380 - 420 \text{ kWh.m}^{-2}$ kolektorové plochy na rok.

² Zdroj: <<http://solar.mivvy.eu/slunecni-mapa>>[cit.2012-10-30]

2.2.2. Základní části a rozdělení solárních systémů

Není žádným problémem získat ze slunečního záření teplo, stačí mít libovolný matně černý povrch. Hlavními problémy je zabránit tepelným ztrátám, skladování tepla pro pozdější využití a odvést vzniklé teplo do těchto uložišť. Těmito úskalími se zabývá většina výzkumu, proto se problém snížení ztrát a akumulace nejvíce podílí na ceně těchto systémů.

Téměř každý solární systém obsahuje těchto pět hlavních částí:

- *Kolektor* – „sbírá“ záření a přeměňuje ho v teplo (viz. podkapitola 2.2.3);
- *Zásobník* – skladuje teplo pro pozdější využití (viz. podkapitola 2.2.4);
- *Transportní systém* – převádí teplo z kolektoru do zásobníku, nebo tak, kde je jeho potřeba;
- *Regulační zařízení* – zajišťuje chod tepla z kolektoru do zásobníku, a ne opačně;
- *Záložní zdroj tepla* – pokrývá spotřebu v době, kdy systém nestačí.

Není pravdou, že vždy jsou všechny tyto části v systému nebo, že jsou vždy oddělené. [8]

Podle různých kritérií dělíme solární systémy přeměňující sluneční záření na teplo takto:

- a) Podle využití systému:
 - pro ohřev teplé vody,
 - pro ohřev bazénů,
 - pro vytápění,
 - pro chlazení a klimatizaci,
- b) podle způsobu přenášení tepla:
 - systémy pasivní,
 - systémy aktivní,
- c) podle média sloužícího k přenosu tepla:
 - voda nebo nemrznoucí směs,
 - vzduch. [8]

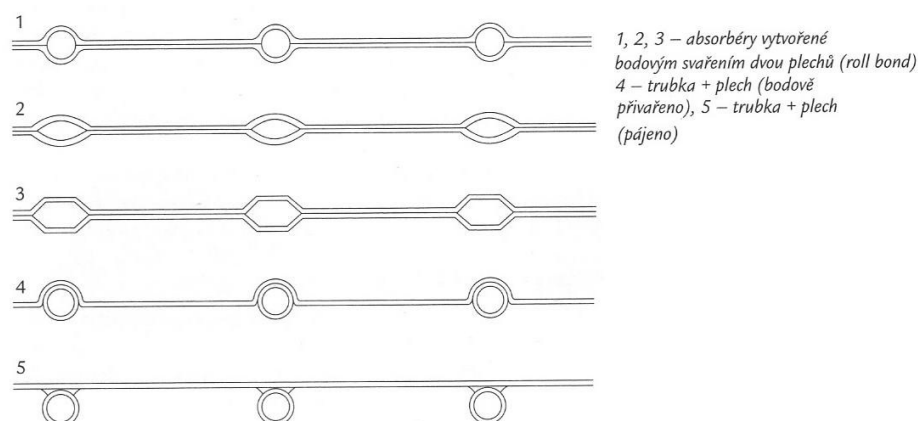
2.2.3. Solární kolektor

Kolektory přeměňují dopadající sluneční záření na teplo. Dělíme je na tři základní typy:

- kapalinové kolektory,
- vakuové kolektory,
- koncentrační kolektory.

Kapalinové kolektory:

Lze se setkat s různými konstrukčními typy. Nejčastěji se rozdělují podle způsobu, jakým na absorbér dopadá sluneční záření. Jedním typem je koncentrující, kdy kolektor obsahuje menší absorbér a vstupující záření je na něj soustředěno zrcadly nebo čočkami. Opačným typem je plochý kolektor, kde je plocha absorbéru stejně velká jako vstupní apertura. Někdy jsou rozděleny podle materiálu na kolektory kovové (pro vyšší teploty) a kolektory plastové (např. pro ohřev bazénů). Nejčastěji se setkáme u plochých kolektorů s plechem tvořícím absorbér a k němu jsou ukotvené trubky. Existují i jiné varianty jak je to znázorněno na obr. 2.2.3.1. [8]



Obr. 2.2.3.1 Provedení absorbéru různých kapalinových kolektorů.³

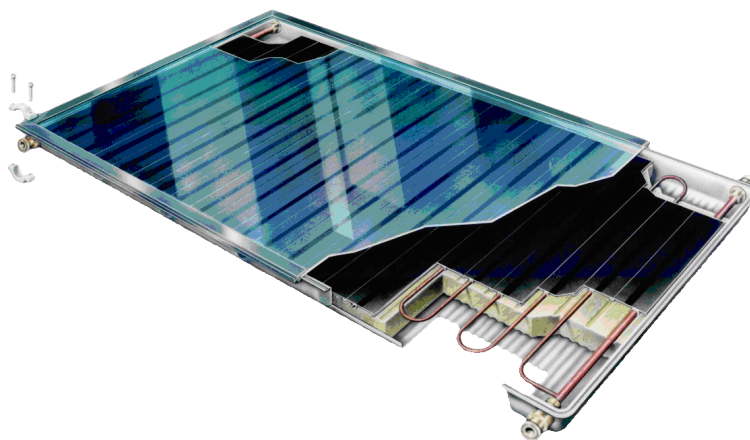
Všechny druhy výše uvedených absorbéru plní svou základní funkci, tj. přeměnit dopadající záření na teplo. Podstatně větší rozdíly jsou v jejich účinnostech. Abychom vybrali vhodný typ kolektoru, tak musíme vědět, na čem závisí jeho účinnost. Zjednodušeně se dá užitečný výkon kolektoru a účinnost kolektoru vypočítat ze vztahů:

$$\begin{aligned} W &= \alpha \cdot \tau \cdot E - U \cdot (t_m - t_a), \\ \eta &= \alpha \cdot \tau - (t_m - t_a)/E \end{aligned} \quad (1), (2)$$

kde je:

W užitečný výkon (W); α koeficient absorpce; τ koeficient propustnosti zasklení; E intenzita slunečního záření (W/m^2); U součinitel prostupu tepla z absorbéru do okolí ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$); $t_m - t_a$ je rozdíl mezi střední teplotou absorbéru a venkovní.[8]

Nejjednodušší kolektor je tvořen samotným nezakrytým absorbérem a ani v létě se nevyhřeje na víc než 60 °C (tepelné ztráty se rovnají tepelným ziskům). Pokud chceme vyšší teploty, tak je nutné absorbér vhodně izolovat. U zadní strany není žádný problém, co se týče izolace, stačí použít pár centimetrů minerální vaty a tepelné ztráty rapidně poklesnou. O dost obtížnější je to z přední stranou, kam dopadá záření. Zde použijeme vhodný druh transparentní izolace. Většinou používáme zakrytí jedním sklem, které nám omezí ztráty konvekcí a částečně i ztráty způsobené radiací. Kondukční ztráty odstraníme například vysokým vakuem, kdy je tlak až pod 0,001 Pa (u vakuových kolektorů). Galvanickým pokovením (např. Černý chrom na měděném absorbéru) snížíme ztráty radiací. Na obr. 2.2.3.2 vidíme řez kapalinovým kolektorem. [8]



Obr. 2.2.3.2. Řez plochým kapalinovým kolektorem.⁴

³ Zdroj: MURTINGER K., TRUXA J., Solární energie pro váš dům., str. 20

⁴ Zdroj: < <http://jaromir-bednar.webnode.cz/produkty/solarni-systemy/solarni-panely-ts/>>[cit.2012-10-30]

Vakuové kolektory:

Používá se v nich různých geometrických uspořádání absorbérů, a přesto se vyčleňují jako samostatná skupina. Křivka účinnosti je u těchto typů kolektorů více plochá díky velmi malým tepelným ztrátám, které jsme snížili pomocí umístění absorbérů ve vakuu a opatření selektivním povrchem. Kolektor tedy dosáhne vysoké teploty jak při slabém slunečním záření, tak při velkém teplotním rozdílu mezi vnějším prostředím a absorbérům. Vakuový kolektor se selektivním povrchem je z technického hlediska brán za nejdokonalejší při řešení problému tepelných ztrát absorbérů. [8]

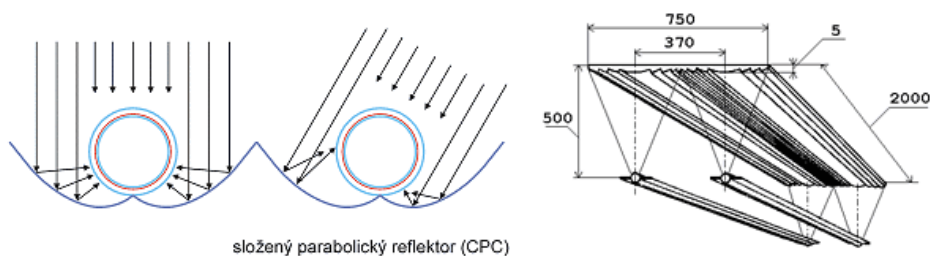
Existují na našem trhu různé typy kolektorů. Například vypadají jako klasický plochý kolektor, který má mezi krycím sklem a kolektorovou vanou rozpěrky, které z kolektoru vyčerpají vzduch na tlak menší než 100 Pa (Např. vakuový kolektor Heliostar). Dalším a častějším typem jsou trubicové vakuové kolektory. Jak už název napovídá, skládají se z trubic. V těchto trubicích je ve vysokém vakuu (10^{-3} Pa) uložen absorbér se selektivní vrstvou. Pomocí toho jsou zcela odstraněny konvekční ztráty i ztráty vzniklé vedením vzduchem. Přenos tepla z absorbérů do nemrznoucí kapaliny zajišťují tzv. tepelné trubice (heat pipe). V trubicích je jen jeden vývod, což je velkou výhodou. Na obrázku níže (Obr. 2.2.3.3.) je vidět tento typ kolektoru. [8]



Obr. 2.2.3.3 Vakuový trubicový kolektor⁵ a řez vakuové trubice.⁶

Koncentrační kolektory:

Koncentrace se provádí, aby byly primárně sníženy ztráty absorbérů a bylo dosaženo vyšší teploty. Také dojde ke snížení množství materiálu potřebného na absorbér, ceny a tepelné setrvačnosti. Zpravidla tento systém nevyjde levněji než plochý kolektor, protože je potřeba použít vhodnou optiku (např. Fresnelovy čočky). Sluneční záření se koncentruje většinou pomocí odrazu (zrcadlový koncentrátor) nebo lomu (čočkový koncentrátor). [8]



Obr. 2.2.3.4. Trubkový koncentrační kolektor s reflektorem a koncentrační kolektor s Fresnelovou čočkou.⁷

⁵ Zdroj: < <http://www.instalace-pospisil.cz/solarni-sety> > [cit.2012-10-31]

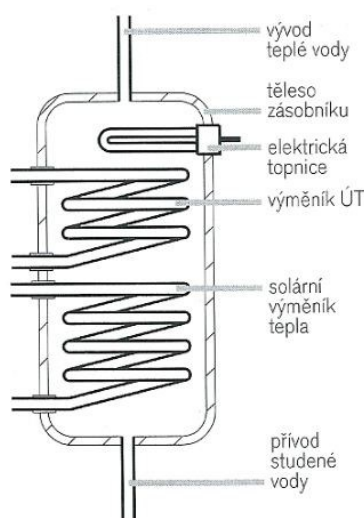
⁶ Zdroj: < <http://www.levnetepllo.cz/produkty/solarni-systemy/ngc/detail/vakuove-trubicove-kolektory-ktu-19> > [cit.2012-10-31]

⁷ Zdroj: < <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/typy-solarnich-kolektoru> > [cit.2012-10-31]

2.2.4. Solární zásobník

Tento zásobník slouží pro přípravu a akumulaci teplé vody, která se dá doplňkově ohřívat například elektřinou. Objem použitého zásobníku musí odpovídat použité ploše kolektoru, aby nedošlo k poškození systému. Z hygienických důvodů je potřeba minimálně jednou týdně ohřát obsah zásobníku aspoň na 72 °C, jelikož při malém odběru a nízkých teplotách mohou vznikat nežádoucí mikroorganismy.

Zásobník dále obsahuje solární výměník tepla, ten je umístěn ve spodní části. Nad ním je výměník ústředního vytápění a nahoře je elektrické topné těleso. Plochy výměníků jsou konstruovány z materiálu vhodného pro danou teplotu kapaliny a pro průtok zásobníku tak, aby nedošlo k poškození. [1]



Obr. 2.2.4.1. Schéma solárního zásobníku s dvěma výměníky a el. topnicí. ⁸

2.2.5. Regulační zařízení

Hlavní funkcí regulačního zařízení u solárních systémů je zapínání čerpadla v době, kdy je teplota v kolektoru vyšší, než teplota ve spodní části solárního zásobníku. V podstatě se jedná o jednoduchý diferenční regulátor teploty doplněn dvěma čidly (např. odporové teploměry). Jedno čidlo je na výstupu z kolektoru a druhé v zásobníku. Aby regulátor stále nezapínal a nevypínal, tak určitou hysterezi (tj. teplotní rozdíl mezi zap. a vyp.). Dalšími funkcemi regulátoru jsou například ochrana před přehřátím zásobníku, měření tepla dodaného systémem, regulace dohřívání vody, apod. Některé regulační jednotky lze i připojit k počítači a komfortněji je ovládat. [8]

2.2.6. Pasivní a aktivní systémy pro ohřev teplé vody

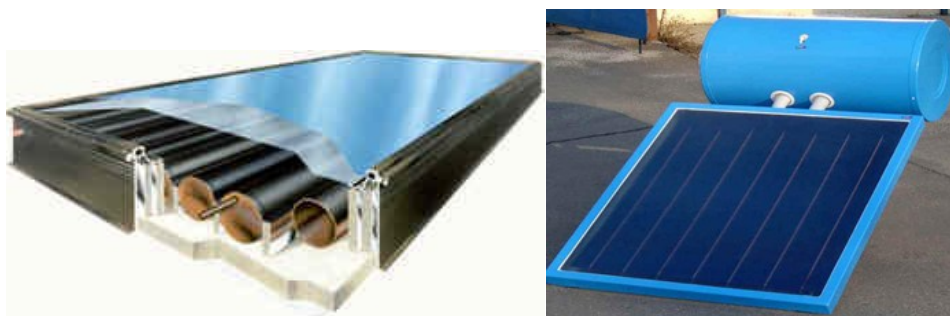
Pasivní systémy pro ohřev teplé vody:

Pro pasivní využití se používají akumulární kolektory nebo samotížné systémy. Asi nejjednodušším akumulárním kolektorem na ohřev vody je nádoba umístěná na slunce a natřená na černo. Taková to nádoba však má velké tepelné ztráty, nelze je používat v zimě a musí být umístěná tam, kde svítí slunce. Výrazným zlepšením je aplikace tlakové nádoby do izolovaného boxu s transparentním zasklením. Pakliže se těleso nachází na přístupném místě, lze podstatně zlepšit

⁸ Zdroj: BERANOVSKÝ J., TRUXA J., Alternativní energie pro váš dům., str. 6

vlastnosti zaizolováním víka, kterým na konci dne těleso zakryjeme a tím předejdeme nočním tepelným ztrátám. Víko je také možno opatřit na vnitřní straně reflexní fólií a využít ho tak v otevřené poloze jako jednoduchý koncentrátor. Akumulační kolektory jsou běžně dostupné a jejich poměry ceny k užité hodnotě je taky dobrý. [8]

Samotížný systém má výhodu odděleného kolektoru od zásobníku, proto dosahuje menších tepelných ztrát. Umístěním kolektoru pod zásobník odpadá potřeba čerpadla i regulačního zařízení. V době slunečního svitu voda koluje mezi kolektorem a zásobníkem samotížně. Jakmile přestane slunce svítit na kolektor, voda přestane kolovat, a pokud je zásobník dobře izolovaný, tak voda chladne jen velice pomalu. Potrubí od kolektoru do zásobníku by mělo být co nejkratší, vyspárované a s větším průměrem. Samotížné systémy se běžně využívají v zemích, kde nehrozí mrazy a jsou kotveny na ploché střechy. Lze používat i v ČR, pokud ovšem použijeme vhodný výměník a nemrznoucí směs. [8]



Obr. 2.2.6.1. Akumulační kolektor⁹ a samotížný systém.¹⁰

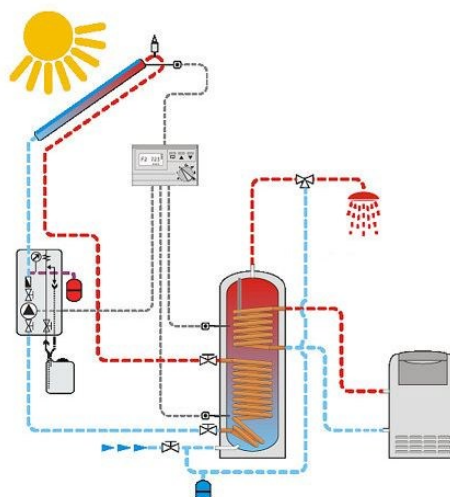
Aktivní systém pro ohřev teplé vody:

Mnohem větší flexibility dosáhneme použitím čerpadla spínaného regulátorem, tedy použitím místo pasivního aktivního systému. Pak lze kolektor umístit na střechu budovy a zásobník dovnitř budovy. Potrubí může mít takřka libovolnou délku a průřez může být dosti malý. U těchto systémů není třeba dělat kompromisy jako u pasivních systémů a mnohem jednodušeji se přizpůsobují požadavkům uživatele. Pro tyto systémy existuje nepřeberné množství kolektorů, akorát pořizovací ceny jsou zde už vyšší. [8]

Solární systémy se taky dělí podle počtu okruhů a to na jednookruhový a dvouokruhový systém. Jednookruhový systém ohřívá přímo vodu bez výměníku tepla, kde jsou hlavními výhodami nižší pořizovací náklady, vysoká účinnost přenosu tepla a jednoduchost. Nevýhodou je pouze sezónní využití (např. bazén). Pro celoroční použití je tedy zapotřebí dvouokruhový systém, kde je teplonosná (nemrznoucí) kapalina vedena do výměníku a tam předá teplo užitkové vodě. Nevýhodou je menší účinnost díky ztrátám ve výměníku. [1]

⁹ Zdroj: < <http://www.thesolar.biz/Progressive%20Tube%20Water%20Heaters.htm> > [cit.2012-10-31]

¹⁰ Zdroj: < <http://hestia.energetika.cz/encyklopedie/7.htm> > [cit.2012-10-31]



Obr. 2.2.6.2. Základní zapojení aktivního dvouokruhového solárního systému.¹¹

2.2.7. Pasivní a aktivní systém pro vytápění

Pasivní solární systémy pro vytápění:

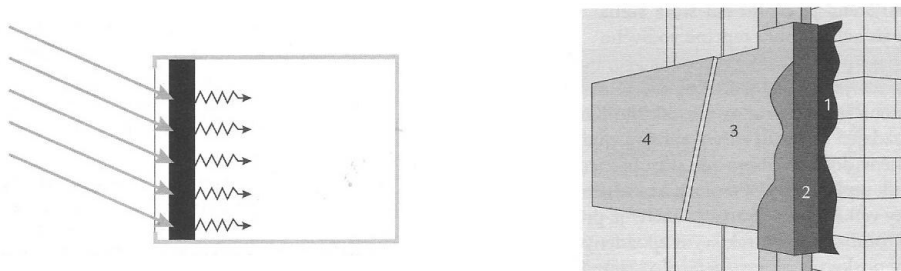
Pasivní vytápění je vlastně vytápění bez nuceného proudění a není to nic nového, už v historii se lidé snažili stavět domy tak, aby okna směřovala na jih a ze severu byla stavba dobře chráněná. Existuje mnoho způsobů a ty nejzákladnější nalezneme popsány tady:

Systém s přímým ziskem (okno) – Tím nejjednodušším solárním systémem jsou jižní okna v místnosti. Sluneční záření z větší části projde oknem dovnitř (část odraz a pohlcení) a po dopadu na stěny (zařízení) se změní v teplo. Toto teplo se v místnostech rovnoměrně rozkládá a akumuluje. Tento systém funguje téměř v každém domě a snižuje roční spotřebu energie o 10 – 15 %. Účinnost závisí na vlastnostech zasklení, tj. na součiniteli prostupu tepla U a na součiniteli celkové tepelné propustnosti slunečního záření g . Energetické vlastnosti se liší podle typu zasklení (např. dvojsklo, trojsklo, atd.). U velkých oken si musíme dát pozor na přehřívání při slunečním svitu a naopak na velkou tepelnou ztrátu když už svítit přestane. [8]

Trombeho stěna – je jednou z možných variant jak využít jižní stěnu, pokud okna netvoří víc, než $\frac{1}{4}$ stěny. Klasická Trombeho stěna je z těžkého a tepelně dobře vodivého materiálu (beton, plné cihly) o tloušťce 20 – 40 cm. Z venku je povrch stěny natřený tmavou barvou a zakrytý jednoduchým nebo dvojitým zasklením (viz. Obr. 2.2.7.1.). Princip je jednoduchý, sluneční záření dopadá na povrch stěny a teplo je vedeno stěnou dovnitř. Stěna slouží jako kolektor a zásobník v jednom. Nejvyšší teplota na povrchu stěny je odpoledne a dovnitř prostupuje se zpožděním 5 – 10 hodin. Lze taky doplnit otvory a teplo může pronikat do místnosti přímo (ventilovaná Trombeho stěna). [8]

Voštinové struktury – je to druh transparentní izolace, který využívá vrstvu voštin (průhledných trubiček) orientovaných kolmo k dopadajícímu slunečnímu záření nebo kolmo ke stěně. Sluneční záření se tak dostane k černě natřenému povrchu a zde se změní na teplo (viz. Obr. 2.2.7.1.). Díky samotným voštinám je omezen únik tepla směrem ven. [8]

¹¹ Zdroj: < <http://www.okna-dolezal.cz/solarni-systemy/sestavy-1.html> > [cit.2012-10-31]



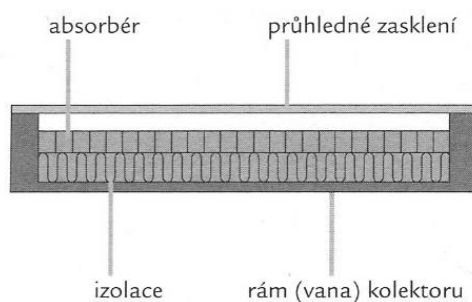
Obr. 2.2.7.1. Trombeho stěna a Voštinová izolace: 1-lepící tmel, 2-panel transparentní izolace, 3-transparentní lepidlo, 4-transparentní povrchová úprava.¹²

Aktivní solární systémy pro vytápění:

Výhodou je oproti pasivním systémům jejich flexibilita a jsou vůči chování uživatelů méně závislé. Jsou univerzálnější a mají využití i tam, kde slunce dopadá jen na střeche.

Vytápění pomocí kapalinových kolektorů – tento systém je v zásadě totožný se solárním systémem pro ohřev vody, proto zde budou probrány pouze rozdíly daných systémů. Jedním, na prvním pohled patrným rozdílem, je velikost systému, pro ohřev vody v rodinném domě stačí asi 6 m² kolektorů a na vytápění je potřeba plocha kolem 20 m². Sklon kolektorů je také výhodnější 60 ° místo obvyklých 45 °C. Akumulace v tomto systému není vždy povinná, jako u systému pro ohřev vody. [8]

Vytápění pomocí vzduchových kolektorů – je výhodné pro vytápění domů a systém je pak složen ze vzduchových kolektorů, potrubí, ventilátoru, regulace a zásobníku. Tento systém je běžný v USA, ale i u nás se začíná uplatňovat ve spojení s rekuperací. Vzduchové kolektory jsou jednodušší než kolektory kapalinové díky menším pracovním teplotám. Také nemusí být tak precizně utěsněné jako kapalinové kolektory. Jako absorbér se v nich používá zvlněný nebo žebrovaný plech (viz. Obr. 2.2.7.2.). Pokud nám stačí pouze přehřev větracího vzduchu, tak nám vystačí jen černý děrovaný plech zakrývající fasádu domu. Takový systém je pak otevřený. K akumulaci tepla se většinou používá kamenivo (levná cena). Nevýhodou je velikost a hmotnost takového zásobníku. Ale hlavní nevýhodou jsou rozvody tepla, které potřebují podstatně větší průměr (až 10krát), než když je teplonosným médiem voda. Pokud to je možné, tak se systém integruje do vzduchotechniky budov. [8]



Obr. 2.2.7.2. Vzduchový kolektor.¹³

¹² Zdroj: MURTINGER K., TRUXA J., Solární energie pro váš dům., str. 49, 50

¹³ Zdroj: MURTINGER K., TRUXA J., Solární energie pro váš dům., str. 54

2.2.8. Zásady dimenzování

Solární systém musí být navržen pro skutečné místní podmínky a je důležité znát spotřebu TUV, způsob připojení ke klasickému zdroji energie, způsob regulace a tyto parametry:

- počet hodin slunečního svitu;
- intenzitu slunečního záření – mění se podle znečištění atmosféry;
- orientace – dobré je na jih ($\pm 45^\circ$), lepší je na jihozápad, jelikož maximum výkonu nastává většinou ve 14:00;
- sklon kolektorů – uvádí se $30 - 60^\circ$ pro celoroční provoz, ale v létě je lepší 30° a v zimě 60° ;
- stínící překážky – ideální je provoz bez zastínění, když už, tak dopoledne;
- délka potrubních rozvodů – potažená kvalitní izolací a co nejkratší;
- možnost umístění – je třeba dát pozor na nosnost střechy, případně lze využít garáž, štítovou stěnu nebo přístavek;
- vhodné rozložení spotřeby tepla – v nejlepším případě by měla křivka spotřeby kopírovat křivku ročního průběhu slunečního záření.

Z výše uvedených parametrů se vychází při stanovení množství vyrobené energie z celého systému za rok. Pro podrobnější výpočty se používají počítačové programy. Následující tabulka je pouze orientačního charakteru dimenzování solárního systému pro ohřev TUV s plochými solárními kolektory se selektivní vrstvou:

Tab. 2.2.8.1 Orientační tabulka dimenzování solárních systémů pro TUV.¹⁴

Počet osob	1	2	3	4	6	8	10
Spotřeba TUV (l/den)	82	164	246	328	492	656	820
Zásobník TUV (l)	80	160	240	300	500	700	800
Plocha kolektorů (m ²)	1,6	3,2	4,8	6	10	14	16

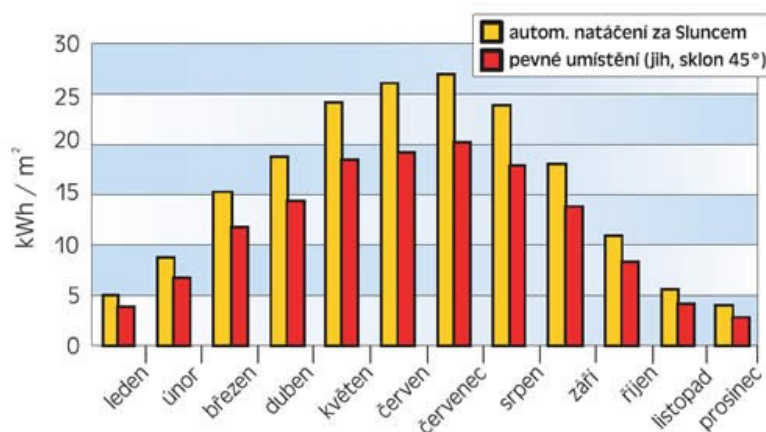
¹⁴ Zdroj: <<http://www.i-ekis.cz/?page=slunce-teplo>> [cit.2012-10-31]

2.3. Sluneční energie – výroba elektřiny

Jak už z předešlých kapitol víme, téměř veškerá energie na naší planetě pochází ze Slunce. Na ČR dopadne přibližně milionkrát více sluneční energie, než je roční spotřeba energie elektrické. Efektivnější zůstává přeměna sluneční energie na teplo, ale lze ji pomocí fotovoltaických panelů také přeměnit na energii elektrickou. [22]

2.3.1. Přírodní podmínky

Přírodní podmínky jsou vlastně totožné jako v podkapitole 2.2.1. na straně 2, tedy zkráceně lze napsat, že nás zajímá průměrná hodnota roční sumy globálního záření pro celou ČR, která činí přibližně 1100 kWh.m^{-2} . Z tohoto, údajů firmy Solartec s.r.o., a dalších údajů v podkapitole 2.2.1, vycházejí následující klíčová čísla pro odhad výroby elektrické energie. 1 m^2 monokrystalického fotovoltaického panelu má špičkový výkon $115 - 125 \text{ W}_p$ při slunečním spektru $AM 1,5$ a při standardním osvětlení 1000 W.m^{-2} . Pro ty co nevědí, je $AM 1,5$ spektrální hustota zářivého toku při jasné obloze vztažená na metr čtverečný vodorovné plochy. Během jednoho roku můžeme z takového solárního panelu získat až 120 kWh elektrické energie (podle typu panelu a daných podmínek). Fotovoltaický systém v ČR je schopen ročně dodat $800 - 1000 \text{ kWh}$ elektrické energie při instalovaném výkonu 1 kW . [1]



Obr. 2.3.1.1 Průměrná produkce fotovoltaického panelu (účinnost 17%).¹⁵

2.3.2. Základní části a rozdělení fotovoltaických systémů

Základním prvkem ve fotovoltaických systémech je solární článek. Ze solárních článků se skládají solární moduly a z těch se tvoří fotovoltaické panely. Dopadem slunečního záření na fotovoltaický panel vzniká elektrický proud. Aby jej bylo možno užitečně využít, tak potřebujeme ještě tyto zařízení:

- měnič – slouží nám k přeměně různého el. napětí na námi požadované el. napětí;
- pojistná zařízení – slouží k jištění daného systému;
- akumulátor – slouží k uschování potřebné energie na pozdější využití;
- odpojovače zátěže – slouží k vhodnému odpojení zátěže;
- měřicí zařízení – slouží např. k odečtení vyrobené energie;
- záložní zdroje – slouží v případě nedostatku vyrobené energie. [7]

¹⁵ Zdroj: < <http://www.i-ekis.cz/?page=slunce-elektrina> > [cit.2012-11-7]

Fotovoltaické systémy se dělí na dva základní typy:

- ostrovní fotovoltaické systémy (grid off);
- fotovoltaické systémy připojené na síť (grid on).

Tyto systémy budou popsány v následující podkapitole 2.3.3.

2.3.3. FV solární systémy ostrovní a připojené na síť

Jak již bylo napsané v předchozí podkapitole, systémy dělíme do dvou základních skupin. Někdy se ještě volí varianta třetí a nazývá se hybridní systém. Hybridní systém je vlastně kombinací těch dvou základních systému, které jsou od sebe odlišné použitelností a zařízeními systému.

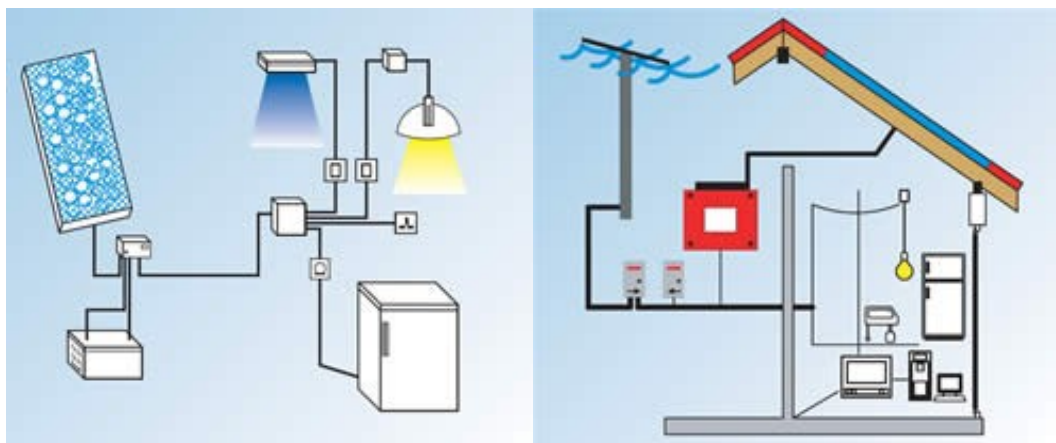
Ostrovní (autonomní) solární systém:

Anglicky se taky značí „off-grid“ a většinou se budují tam, kde není dostupná elektrorozvodná síť pro připojení daného objektu. Tyto systémy potřebují kromě fotovoltaického panelu ještě akumulátory, regulátory nabíjení a většinou i měnič. Tyto systémy se nejčastěji používají na chatách v horách, nebo k čerpání vody z hloubkových vrtů v zemích bez elektrické infrastruktury. [7]

Solární systémy připojené k rozvodné síti:

Anglicky se jim říká „on-grid“. Tento systém elegantně řeší problém s přebytky vyrobené elektrické energie. Takto vyrobená elektřina není pro síť (v rozvinutých zemích) žádný problém odebrat a v případě nouze zase naopak přidat. To díky tomu, že je elektrická síť velice rozsáhlá a má mechanismy zajišťující, aby byla rovnováha mezi výrobou a spotřebou.

Na rozdíl od off-grid systému tento systém nepotřebuje akumulátory a tím pádem ani regulátory nabíjení. Díky tomu má systém nižší pořizovací náklady. [7]

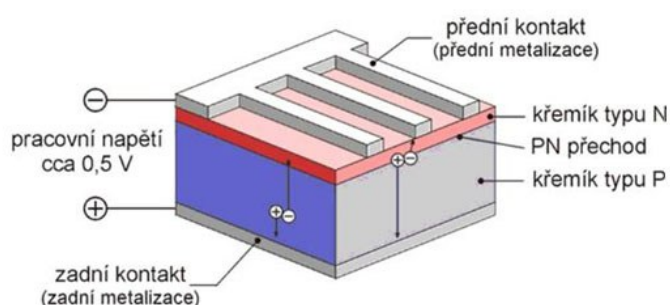


Obr. 2.3.3.1 Solární systémy off-grid a on-grid.¹⁶

¹⁶ Zdroj: < <http://www.i-ekis.cz/?page=slunce-elektrina> > [cit.2012-11-13]

2.3.4. Popis solárního článku a jeho základní typy

Solární článek je v podstatě velkoplošný polovodičový prvek s minimálně jedním přechodem PN, mezi jejichž přechody vzniká přechodová vrstva P-N. Tato vrstva má elektrické pole vysoké intenzity a pomocí toho se uvádějí do pohybu volné nosiče náboje, které vznikají absorpcí světla. Elektrody následně odvádějí vzniklý elektrický proud. Ozářený solární článek fotony generuje elektricky nabitě částice (elektron – díra) a některé jsou poté spárovány vnitřním elektrickým polem přechodu PN. Rozdělení náboje způsobuje napěťový rozdíl mezi „zadním“ (+) a „předním“ (-) kontaktem článku. Při zatížení spotřebičem začne protékat stejnosměrný elektrický proud. Proud je přímo úměrný intenzitě dopadajícího slunečního záření a velikosti plochy článku. Energetická účinnost přeměny záření na elektrickou energii běžně dnes vyráběných solárních článků je 14 – 16 %, u experimentálních článků až 28 %. Celková využitelnost solárního systému s ohledem na pracovní podmínky a konstrukci je až 11 %. Nejrozšířenější materiál na výrobu solárních článků je krystalický křemík ve formě monokrystalu, případně multikrystalu s účinností do 16 %. [1]



Obr. 2.3.4.1 Princip solárního článku.¹⁷

Základní typy solárních článků:

Solární články už mají existenci více jak 50 let, a proto je jejich typové dělení provádíme podle čtyř generačních stupňů:

První generace: V současné době stále nepoužívanější typ, který je konstruován z destiček monokrystalického křemíku.

Druhá generace: Spotřebovávají méně křemíku, než první generace. Patří tam Polykrystalický, mikrokrytalický nebo amorfní křemík. Menší účinnost, ale lze použít i na ohebný podklad (oblečení, fóliová střešní krytina).

Třetí generace: Doposud se příliš komerčně nevyužívá. K přeměně záření se nepoužívá křemík, ale třeba organické polymery.

Čtvrtá generace: Kompozitní články, tedy články složené z více různých vrstev. Lépe využívají sluneční spektrum, kde každá vrstva využívá světlo jiné vlnové délky. [14]

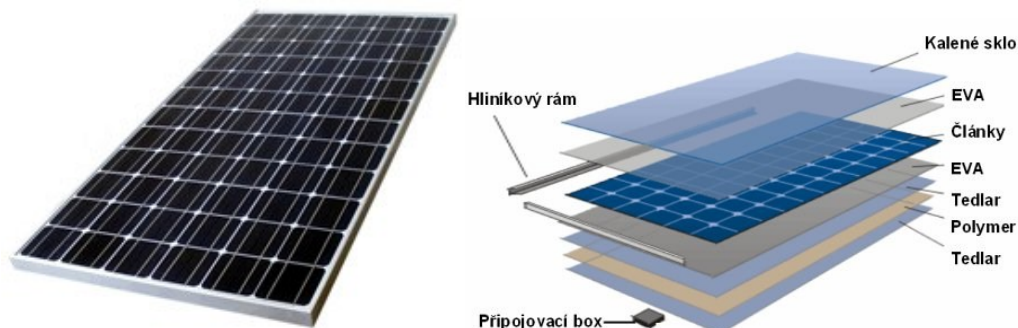
2.3.5. Fotovoltaický panel

Z předchozí podkapitoly už víme, že solární články jsou dosti komplikované a citlivé. Aby dokázali fungovat několik let, je potřeba je dostatečně chránit před korozí, znečištěním i mechanickým poškozením. Také napětí solárního článku je malé (cca 0,5 V) a pro vhodné využití je třeba jich zapojit více sériově (případně sérioparalelně). Pokud tedy máme skupinu vhodně pospojovaných a zapouzdrěných solárních článků, tak to nazýváme fotovoltaický panel (viz. obr. 2.3.5.1). [7]

Na horní stranu panelu se nejčastěji používá kalené sklo, které společně s hliníkovým rámem dává fotovoltaickému panelu mechanickou odolnost a pevnost. Používají se málo železitá skla, aby

¹⁷ Zdroj: < <http://www.profitsolar.cz/o-solarni-energii.php> > [cit.2012-11-13]

byla lepší propustnost světla v červené a infračervené oblasti spektra. Dále je důležité mít solární články opatřeny antireflexní vrstvou pro snížení ztráty světla odrazem a tím snížení účinnosti. Ideální těsnost fotovoltaického panelu je zajištěna pomocí vakuové laminace fólií z EVA (Etylen – Vinyl Acetátového kopolymeru). Na zadní stranu se používá většinou fólie Tedlaru, který je velmi odolný proti UV záření a nepropouští vodní páry. Zpravidla panel usazujeme do pevného rámu, kde předejdeme poškození sněhem nebo větrem a zároveň tento rám slouží k montáži na střechu. [7]



Obr. 2.3.5.1. Fotovoltaický panel¹⁸ a jeho skladba.¹⁹

2.3.6. Měníč proudu

Výstupem z fotovoltaického panelu je stejnosměrný proud, který nejde jednoduše transformovat na požadované napětí. Pokud tedy požadujeme napojení na rozvodnou skříň, tak je třeba stejnosměrné napětí přeměnit na vhodné střídavé napětí (230 V) při vhodném kmitočtu (50 Hz).

Měníč proudu tedy nejprve přemění stejnosměrný proud na střídavý pomocí spínacích obvodů a po té se transformuje na potřebné napětí. U měniče se dbá na výstupní napětí, výkon, frekvenci, ale i na tvar střídavého napětí. Nejlepší jsou invertory se sinusovým průběhem, kde je ovšem dražší cena. Dále jsou kvazisinusové aproximující sinusový průběh stupňovitou křivkou, obdélníkové nebo lichoběžníkové. Ty jsou nejméně vhodné a nepříjemné pro rozvodnou síť. Pro dodání proudu do sítě je zapotřebí použít synchronní měnič, který je k síti fázován. Celková účinnost systému také záleží na správném dimenzování měniče a někdy je výhodnější použití více menších měničů. Měníč také provádí měření vyrobeného proudu a zajišťuje ochranu odepnutím při poruše. [7]



Obr. 2.3.6.1. Transformátorový měnič SMA SB 3300.²⁰

¹⁸ Zdroj: < <http://www.mmmontgroup.cz/fotovoltaike-systemy-technicke-reseni.aspx> > [cit.2012-11-14]

¹⁹ Zdroj: < <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5470-historie-a-perspektivy-oze-fotovoltaika-technologie-krystalickeho-kremiku> > [cit.2012-11-14]

²⁰ Zdroj: < <http://proinstalatera.cz/transformatorovy-menic-sma-sb-3300/> > [cit.2012-11-14]

2.3.7. Akumulace

K akumulaci elektrické energie používáme akumulátory. Akumulace se většinou provádí jen u ostrovních systémů, a proto jsou znatelně dražší oproti systémům připojených na síť. Cena akumulátorů tvoří 40 – 60 % ceny systému a navíc je jejich životnost pouze 5 – 10 let, takže jsou ve skutečnosti náklady na akumulaci větší než na fotovoltaické panely. [7]

Důležitým parametrem kromě životnosti je také velikost kapacity baterie. Ta závisí zejména na nočním odběru, tedy na hloubce povoleného vybití. Tento parametr určíme ze vztahu:

$$C_R = \frac{N_B P_{NL} N_B \tau_N}{K_2 K_D C_D U_B} \quad (Ah) \quad (3)$$

kde je:

C_R je kapacita baterie (Ah);

C_D je hloubka povoleného vybití baterie (%kapacity);

U_B je střední napětí baterie;

K_D je navrhovaná rezerva;

N_B je počet baterií zapojených paralelně;

τ_N je délka noci;

P_{NL} je střední zatížení elektrického vedení během noci. [2]

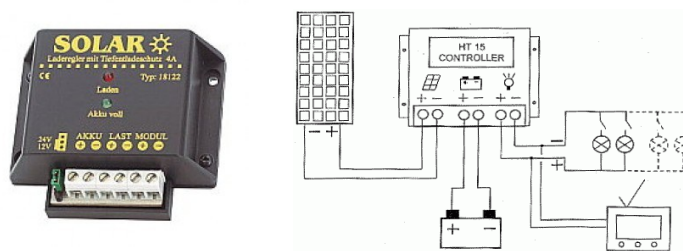
Dalším parametrem při volení akumulátoru může být i typ provedení:

- Olověný akumulátor: je nejčastěji používaný. Ve fotovoltaických systémech je dimenzován na hluboké vybíjení a má nízké samovybíjení. Jedná se v podstatě o klasické staniční baterie složené z 2 V článků v nádobkách s volně nalitým elektrolytem a umožňují snadnou údržbu. Z hlediska životnosti jsou nejvýhodnější.
- Alkalické akumulátory: se používají poměrně zřídka a to pod názvem Ni-Cd akumulátory s kapsovými elektrodami. Výhodou je delší životnost (až 20 let při cyklech 60 – 80 % vybíjením) a dobrá snesitelnost dlouhodobého vybití, ale velkou nevýhodou je tzv. „paměťový efekt“. Také samovybíjení je větší než u olověných akumulátorů.
- Lithium-iontové baterie: jsou pro stacionární solární aplikace zatím příliš drahé a běžně se nepoužívají. [7]

2.3.8. Regulátory nabíjení

Jsou důležitou součástí pro nabíjení akumulátorů elektrickou energií vyrobenou z fotovoltaických panelů a mají vysokou spolehlivost. Jsou to v podstatě polovodičové regulátory a zajišťují:

- Nabíjení akumulátoru;
- Chrání akumulátor před přebitím a velkým vybitím;
- Zabraňují vybíjení akumulátoru přes solární panel;
- Zabudovaná ochrana proti přepětí a zkratu;
- Maximálně využívají vyrobenou elektrickou energii. [28]



Obr. 2.3.8.1. Regulátor nabíjení ²¹ a blokové schéma zapojení. ²²

2.3.9. Záložní zdroj

Abychom nezůstali bez proudu při používání ostrovního systému, potřebujeme mít nějaký záložní zdroj energie. Může totiž nastat situace, že budeme bez slunečního svitu tak dlouho, až se úplně vybijí akumulátory a elektřinu budeme stále potřebovat. Zpravidla se to stává v zimním období. Nejčastěji se používají elektrocentrály spalující naftu, benzín, propan nebo propan-butan (levnější provoz). Na trhu je celá řada výkonů, proto se doporučuje použít tu, která vyrábí tolik energie, kolik přibližně potřebujeme (případně více). Nevýhodou je hlučnost, potřeba obsluhy a hlavně je takto vyrobená elektřina dosti drahá. Lze použít i jiný typ záložního zdroje, třeba Stirlingový motor. [7]

2.3.10. Zásady dimenzování

Fotovoltaický systém se dimenzuje podobně jako systém s kolektory pro ohřev TUV. Takže je důležité navrhnout systém pro skutečné místní podmínky a je třeba znát:

- účel využití;
- uvažovanou spotřebu elektřiny;
- typ a provozní hodiny připojených spotřebičů;
- zda je systém připojen na síť, nebo v ostrovním provozu;
- způsob napojení na doplňkový zdroj;
- další vstupní údaje.

K dalším vstupním údajům patří hlavně tyto:

- Počet hodin slunečního svitu;
- intenzita slunečního záření – mění se podle znečištění atmosféry;
- orientace FV panelu – ideální je na jih;
- sklon FV panelu – pro celoroční provoz je nejlepší sklon 45° od vodorovné roviny;
- množství stínících překážek.

Z výše uvedených parametrů se určuje množství vyrobené elektřiny z daného systému v dané oblasti za rok. Pro podrobnější výpočty se v dnešní době využívá počítačových programů.

V tabulce níže je naznačeno kolik průměrně vyrobí elektrické energie vhodně navržený systém s FV panelem o výkonu 110 W_p. [22]

Tab. 2.3.10.1. Průměrné hodnoty el. energie, kterou jde získat z FV panelu s výkonem 110 W_p. ²³

Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Rok [Wh]
Energie [Wh/den]	80	138	213	302	383	390	408	360	265	179	83	60	87 237

²¹ Zdroj: < <http://www.e-dvereokna.cz/clanky/solar-technika.html> > [cit.2012-11-14]

²² Zdroj: < <http://www.sany.cz/www/elektrina-ze-slunce/regulatory-nabijeni/> > [cit.2012-11-14]

²³ Zdroj: < <http://www.i-ekis.cz/?page=slunce-elektrina> > [cit.2012-11-21]

2.4. Větrná energie – Malé větrné elektrárny

Tato kapitola se bude stručně zabývat malými větrnými elektrárnami, což jsou elektrárny, které mají instalovaný výkon do 30 kW. Tyto elektrárny jsou vhodné pro využití energie větru u obytných budov.

Jak už bylo uvedeno v kapitole 2.1., je energie větru jednou z forem transformace slunečního záření dopadajícího na naši planetu. Větrek pojmenováváme proudění vzduchu, jenž vzniká tlakovými rozdíly mezi oblastmi zemské atmosféry o různých teplotách. [20]

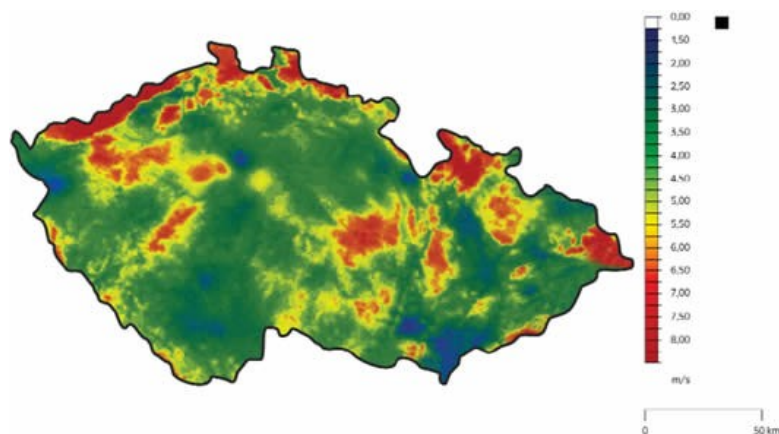
2.4.1. Přírodní podmínky

Česká republika je vnitrozemním státem, a proto se projevuje významným kolísáním rychlosti větru. Příčinou je globální vzdušné proudění.

Nejdůležitějším údajem pro využití energie větru je jeho rychlost, která se udává nejčastěji v metrech za sekundu. Rychlost větru ovlivňuje různé terénní překážky a druh povrchu (les, vodní hladina). Proto je rozdíl v rychlosti větru 10 m nad terénem a 100 m nad terénem.

Proudění vzduchu je vždy turbulentní, a proto jsou výsledky měření směru a rychlosti větru zprůměrované za určitý interval. Měření rychlosti větru je prováděno v souladu s mezinárodními standartami. Pro směr a rychlost větru se měření provádí ve výšce 10 m nad zemským povrchem.

Pomocí meteorologických stanic ČHMÚ jsou naměřeny hodnoty rychlosti a směru větru, které jsou běžně dostupné a lze si tak udělat představu o využití větrné elektrárny v dané oblasti. [20]



Obr. 2.4.1.1. Větrná mapa České republiky.²⁴

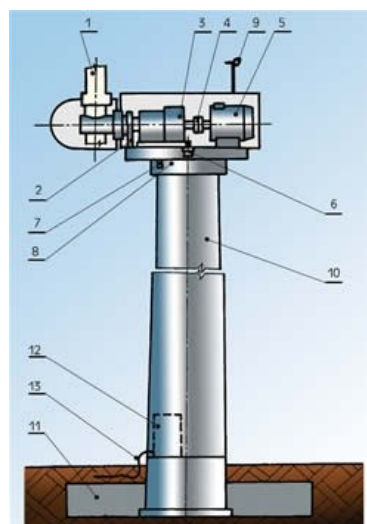
2.4.2. Stručný princip funkčnosti a popis VE

Princip funkčnosti větrné elektrárny je poměrně jednoduchý. Rotor je otočnou částí elektrárny a vlivem proudění vzduchu je roztáčen. Na rotor je přes spojku napojený generátor, který generuje stejnosměrný nebo střídavý proud.

Rotor neboli turbínu dělíme na dvě skupiny podle jejich osy otáčení, a to na svislé a vodorovné. Nejrozšířenějším druhem jsou klasické vrtulové větrné elektrárny zpravidla tří a více listové.

Větrné elektrárny, stejně jako fotovoltaické systémy, rozdělujeme na ty, které jsou připojené na síť a které pracují v ostrovním systému. Pokud pracujeme v ostrovním systému, tak musíme mít vhodnou akumulaci a pro připojení na síť zase musíme mít vhodný měnič. Tyto zařízení (měnič, akumulátor, regulace nabíjení) jsou stejné jako u fotovoltaických systémů, a proto si o jejich vlastnostech můžete přečíst ve výše uvedených podkapitolách. [16]

²⁴ Zdroj: < <http://www.i-ekis.cz/?page=vitr> > [cit.2012-11-21]



Popis: 1 - rotor s rotorovou hlaví, 2 - brzda rotoru, 3 - planetová převodovka, 4 - spojka, 5 - generátor, 6 - servo-pohon natáčení strojovny, 7 - brzda točny strojovny, 8 - ložisko točny strojovny, 9 - čidla rychlosti a směru větru, 10 - několikadílná věž elektrárny, 11 - betonový armovaný základ elektrárny, 12 - elektrorozvaděče silnoproudého a řídicího obvodu, 13 - elektrická přípojka.

Obr. 2.4.2.1. Schéma a popis větrné elektrárny.²⁵

2.4.3. Základní typy VE pro soukromé využití

V ČR dnes už existuje mnoho výrobců. Lze si bez problému zakoupit malou větrnou elektrárnu vhodnou pro instalaci na zahradě. V prodeji jsou dva základní typy.

Jedním je větrná elektrárna s instalovaným výkonem kolem 1 kW, která má stejnosměrný generátor 12 nebo 24 V. Za pomoci použití vhodného měniče můžeme dosáhnout klasických 230 V. Tyto zařízení je možné používat v místech, kde se není možné napojit na rozvodnou síť.

Druhým typem je větrná elektrárna s instalovaným výkonem větším než 1 kW, která obsahuje asynchronní generátor. Ta se používá většinou jako doplňkový zdroj, jelikož je potřeba, aby byla napojena na elektrickou síť. [17]

2.4.4. Zásady dimenzování

Vhodné podmínky pro větrné elektrárny jsou v případě vnitrozemských oblastí v lokalitách, jejichž nadmořská výška je větší než 500 m n. m. Níže je průměrná rychlost větru velice nízká (2 – 4 m/s). Rychlost větru je nejzásadnější parametr, protože energie větru roste se třetí mocninou této rychlosti. Tedy při zdvojnásobení rychlosti větru vzroste až osmkrát jeho energie. Před rozhodnutím o použití malé větrné elektrárny je třeba nejen znát průměrnou rychlost větru, ale i následující údaje:

- Směr větru – ideálně zjistit ročním měřením;
- množství překážek a jejich parametry – způsobují turbulenci a brání laminárnímu proudění větru;
- venkovní teploty a jiné nepříznivé meteorologické jevy – např. námrazy;
- nadmořská výška – kvůli hustotám vzduchu;
- vzdálenost od obydlí – vysoká hluchnost u větších výkonů. [20]

²⁵ Zdroj: < <http://www.i-ekis.cz/?page=vitr> > [cit.2012-11-21]

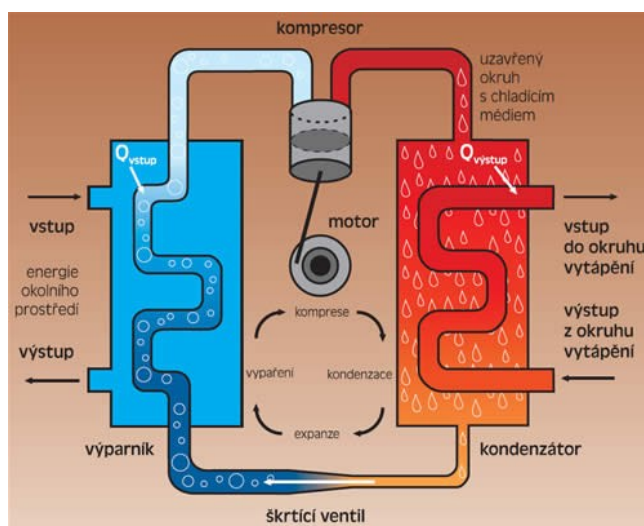
2.5. Energie prostředí a geotermální - Tepelná čerpadla

Prostředí (vzduch, voda), které je kolem nás většinou nelze přímo využít pro vytápění domu, jelikož má obvykle nízkou teplotu (výjimkou jsou geotermální prameny). Teplo z okolí lze využít právě pomocí tepelných čerpadel. [19]

2.5.1. Princip tepelného čerpadla (kompresorového)

Princip je jednoduchý a známý už hodně dlouho. Není totiž žádným tajemstvím, že tepelné čerpadlo (TČ) funguje na stejném principu jako chladnička. Chladnička odebírá teplo z místa, kde jsou uschovány potraviny a předává ho na zadní část, kde se předává do prostředí. TČ tedy odebírá teplo prostředí (půda, voda, vzduch) a předává ho do námi určeného objektu. [19]

Činnost tepelného čerpadla má čtyři děje: Vypařování, komprese, kondenzace a expanze. To lze vidět na níže uvedeném obrázku a funguje tak, že v prvním ději dochází ve výparníku k vypařování chladiva kolujícího tepelným čerpadlem. Při vypařování dochází k odebírání okolního tepla daného prostředí. V druhém ději se plynné skupenství opět mění na kapalné pomocí kompresoru. Při prudkém stlačení naroste tlak a tím pádem i teplota. Takto zahřáté chladivo koluje přes výměník a předává teplo. Toto byl třetí děj, no a ve čtvrtém ději se chladivo vrací přes expanzní ventil zpět do výparníku. Tento koloběh se neustále opakuje. [23]



Obr. 2.5.1.1 Princip tepelného čerpadla.²⁶

2.5.2. Topný faktor TČ

Je to jeden z nejdůležitějších parametrů tepelného čerpadla. Značí se ε a vyjadřuje poměr dodávaného tepla k množství spotřebované energie. Vztah vypadá takto:

$$\varepsilon = Q/E \quad (-) \quad (4)$$

kde:

Q – je teplo dodané do vytápění [kWh],

E – je energie pro pohon TČ [kWh]. [19]

²⁶ Zdroj: < <http://www.i-ekis.cz/?page=prostredi> > [cit.2013-2-6]

Topný faktor se u různých TČ pohybuje různě a to přibližně od 2 do 5. Je závislý na typu kompresoru, vstupní a výstupní teplotě a na dalších parametrech.

Topný faktor lze také vypočítat u kompresorových TČ takto:

$$\varepsilon = k \cdot \frac{T_k}{T_k - T_0} \quad (-) \quad (5)$$

kde:

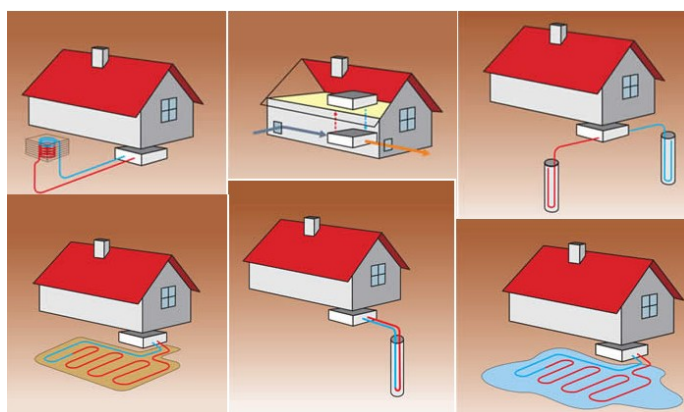
T_k – je kondenzační teplota (topného systému) [K],

T_0 – je vypařovací teplota (teplota zdroje) [K],

k – je korekční součinitel respektující skutečný oběh; $k = (0,4 \text{ až } 0,6)$. [19]

2.5.3. Zdroje tepla pro TČ

- **Okolní vzduch** – je k dispozici všude a hlavně je nutné použít výkonný ventilátor, TČ je schopno pracovat až do cca -12 °C.
- **Odpadní vzduch** – využívá se vzduch odváděný ven větracím systémem objektu, teplota okolo 18 – 24 °C, nevýhodou je omezené množství větraného vzduchu.
- **Povrchová voda** – využívá se voda v toku nebo v rybníku, výměník přímo ve vodě nebo v břehu tak, aby nehrozilo zamrznutí.
- **Podzemní voda** – musí být geologicky vhodné podloží, voda se odebírá ze sací studny a vypouští se do vsakovací studny, v praxi se příliš nepoužívá.
- **Z půdy** – využití půdního kolektoru, který je uložen v nemrznoucí hloubce, velikost plochy kolektoru je asi trojnásobek plochy vytápění.
- **Z hlubinných vrtů** – využívá se tepla hornin v podlaží, hloubka vrtů až 150 m, vrty umístěny vedle nebo pod stavbou, výhodou stálá teplota (cca 8 °C).



Obr. 2.5.3.1. Příklady využití zdrojů tepla pro TČ.²⁷

2.5.4. Dělení systému TČ

Systémy TČ dělíme podle ochlazovaného a ohřívajícího média:

- **Vzduch – voda:** je to univerzální typ vhodný pro ústřední vytápění,
- **vzduch – vzduch:** je pouze doplňkovým zdrojem tepla, jedná se o teplovzdušné vytápění (také klimatizace),
- **voda – voda:** lze využít odpadní teplo nebo geotermální energii a je vhodné pro ústřední vytápění,
- **nemrznoucí kapalina – voda:** univerzální typ, zdrojem tepla je nejčastěji půdní kolektor nebo vrt,
- **voda – vzduch:** vhodné pro teplovzdušné vytápěcí systémy. [19]

²⁷ Zdroj: < <http://www.i-ekis.cz/?page=prostredi> > [cit.2013-2-6]

2.6. Energie biomasy – využití v obytných domech

Biomasa je hmota organického původu, která vzniká díky dopadajícímu slunečnímu záření. Vytváří se buď cíleně pěstováním rostlin, nebo se využívá zemědělských, potravinářských a lesních odpadů. [18]

2.6.1. Získání energie z biomasy (Spalování, zplynování)

Z biomasy lze získat energii dvěma způsoby: biochemickou nebo termochemickou přeměnou. U vytápění obytných domů se v dnešní době využívá termochemické přeměny a to spalování nebo zplynování.

Spalování je od zplynování rozdílné tím, že při působení vysokých teplot je přístupný vzduch. Uvolněné hořlavé plynné složky (dřevoplyn) shoří. Kdežto při zplynování není vzduch přístupný a uvolněný dřevoplyn odvádíme do jiné části (spalovací), kde jej spalujeme jako kterékoliv jiné plynné palivo. [32]

2.6.2. Rozlišení biomasy podle obsahu vody

Dělíme ji na:

- **Suchá** – dřevo a dřevní odpady, sláma, atd., lze spalovat přímo.
- **Mokrá** – kejda a další tekuté odpady, využívá se v bioplynových technologiích, nelze spalovat přímo.
- **Speciální biomasa** – olejniny, škrobové a cukernaté plodiny, vytváří se bionafta nebo líh pomocí speciálních technologií. [18]

2.6.3. Druhy paliv

Pro obytné domy se z biomasy využívá hlavně dřevo, dřevní brikety, peletky nebo štěpka. Štěpka se vytváří pomocí drtiče na dřevěný odpad a jedná se tedy o dřevnatou drť. Peletka je tzv. granule o rozměrech cca 20 x 5 mm vyrobená ze slisovaného dřevního odpadu. Výhodou je přesné dávkování pomocí velkého zásobníku. Dřevní brikety jsou také slisovaný dřevnatý odpad, ale mají větší a různé rozměry. Lze je zakoupit dnes už téměř v jakémkoliv obchodě se smíšeným zbožím.

Výhřevnost závisí především na obsahu vody, například dřevní hmota o vlhkosti 50% a přibližně poloviční výhřevnost oproti hmotě o vlhkosti 10%. Výrobci doporučují spalovat biomasu s vlhkostí maximálně 20%. [32]



Obr. 2.6.2.1. Dřevní brikety a peletky.²⁸

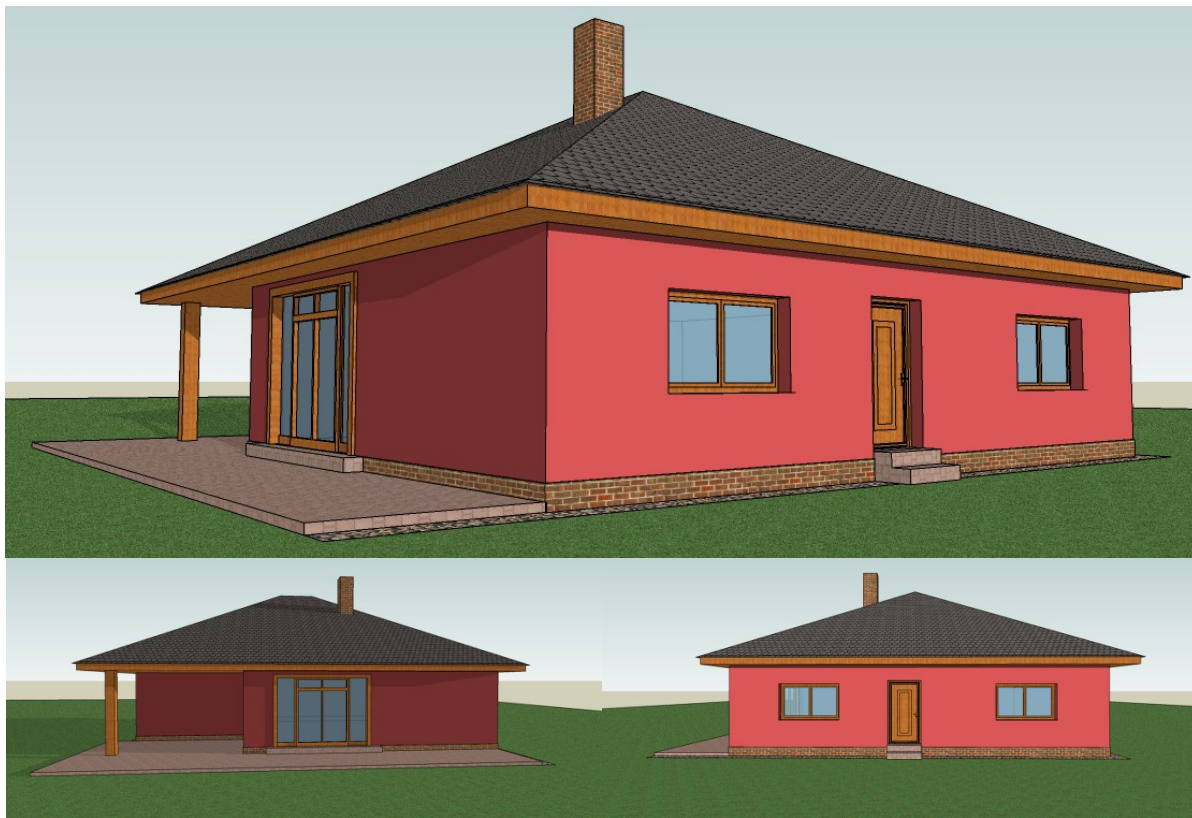
2.6.4. Kotle

Dnešní moderní kotle jsou vybaveny kvalitní elektronikou a jejich funkce vůbec nezaostávají za plynovými kotly. Výrobci nabízejí řadu doplňků pro zlepšení funkcí, např. regulátory. Kotel volíme podle formy a dostupnosti paliva. Lze volit kotel jak manuální, kde musíme sami minimálně 3x denně přikládat, tak automatický. Automatické kotle jsou kotle na peletky a musí mít velký zásobník nebo dopravník. [32]

²⁸ Zdroj: < <http://www.tzb-info.cz/945-vyuziti-biomasy-a-akumulacni-zdroje-pro-vytapeni-rd> > [cit.2013-2-7]

3. Energetická bilance vybraného obytného domu

3.1. Popis zvoleného objektu



Obr. 3.1.1. Vizualizace řešeného RD.²⁹

Jedná se o jednopodlažní rodinný dům (RD) se zastavěnou plochou 149,5 m². Tento dům se nachází v Moravskoslezském kraji v obci ležící kousek od Ostravy (investor si nepřeje zveřejnit přesnou lokalitu jeho RD) a je po kompletní rekonstrukci, která obnášela také kompletní přestavbu jednotlivých místností a přístavbu dílny, samostatné kuchyně a ložnice. Po rekonstrukci je dům určen pro 3 - 4 osoby, čemuž odpovídá i rozvržení jednotlivých místností a lze si je prohlédnout na projektu například na Obr.3.3.4.3.

Dům má obvodové zdivo široké 45 cm a je vyzděno z plných cihel. Vnitřní příčky jsou kombinované z plných cihel a Ytongu. Obvodové zdivo je zatepleno polystyrénem o tloušťce 150 mm, podlaha jednotlivých místností polystyrénem o tloušťce 100 mm a stropy lisovanou minerální vlnou hrubou 60 mm. Veškerá okna i dveře jsou plastová s použitím vakuovaného dvojskla. Střecha je pokryta betonovými taškami a má tvar protaženého jehlanu. Sklon střechy je 27 °.

Tento objekt nemá žádné sklepní prostory a zatím ani účelově nevyužívá prostory půdní. V podlaze každého pokoje je zabudováno podlahové topení, které chce investor (majitel) ohřívat solárními kolektory, případně krbovými kamny, ty se budou nacházet v obývacím pokoji.

²⁹ Zdroj: Vytvořeno autorem pomocí programu SketchUp.

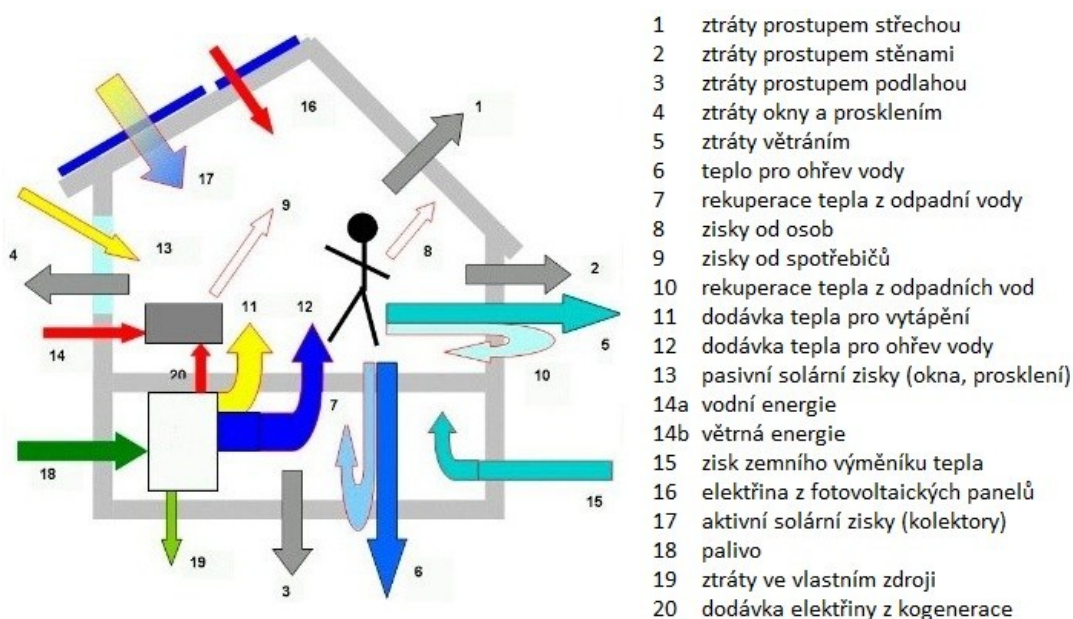
3.2. Co je energetická bilance domu a jak jí sestavit

V obytných domech se používají energie v různé podobě a pro různé účely. Nejvíce viditelnou položkou energetické bilance je teplo pro vytápění, ale i osvětlení. Energie na osvětlení se pohybuje u budov kolem 5 až 15 % z celkové spotřebované energie a nemá tedy až takový význam při řešení otázky „kde ušetřit“. Právě pro celkový přehled se sestavuje energetická bilance, kde získáme přehled o energetických tocích v domě. [10]

Abychom správně sestrojili energetickou bilanci dané budovy, tak musíme zjistit veškeré energetické ztráty a zisky (potřeby a zdroje). Největší ztrátou byla u starších domů potřeba tepla pro vytápění a větrání, zatím co potřeba teplé vody byla menší. Nejčastěji se tyto potřeby kryly kotlem na tuhá paliva nebo elektřinou a zisky od ostatních elektrospotřebičů se zanedbávaly díky malému podílu na celkovém krytí. Potřeba tepla se odvíjí od vlastností stavebních konstrukcí a četnosti větrání. Až vyčíslení podílu jednotlivých konstrukcí pomáhá k uvědomění, které konstrukce mají největší ztráty. V praxi se často stane, že se zbytečně zateplí obvodové zdivo a následně je zjištěno, že podlaha má větší plochu a hlavně větší ztráty. U nových staveb jsou použity nové a lepší technologie, díky tomu klesá spotřeba tepla na vytápění. Proto narůstá význam ostatních zdrojů tepla. Např. pasivní domy počítají s tím, že zdroje tepla, jako jsou kotle, už budou dodávat jen velmi málo energie a další se bude získávat pomocí rekuperace. Rekuperace totiž využívá tepla z odváděného větracího vzduchu nebo odpadních vod. Hojně se využívá různých typů solárních systémů i tepelných čerpadel. Dalším přísunem tepla jsou nejen spotřebiče běžně fungující v místnosti (lednice, pračka, myčka, atd.), ale i živočichové (pes, kočka, člověk), kde se hovoří o tzv. metabolickém teple. [10]

Bilance energie se vztahuje na následující faktory (uvažuje se pouze s citelným teplem):

- tepelné zisky a ztráty prostupem a větráním mezi přilehlými zónami;
- tepelné ztráty prostupem a větráním z interiéru ven;
- využitelné tepelné zisky uvnitř (využití vnitřních zdrojů tepla);
- využitelné solární tepelné zisky;
- tepelné ztráty otopné soustavy při výrobě a odvodu spalin;
- přívod energie do otopných soustav. [9]



Obr. 3.2.1. Energetická bilance domu.³⁰

³⁰ Zdroj: < <http://www.ekowatt.cz/uspory/energeticka-bilance-domu.shtml> > [cit.2013-2-25]

3.3. Energie potřebná pro vytápění

3.3.1. Tepelné ztráty

Celková tepelná ztráta jedno zónové budovy se značí Q_l a vypočítá se pro budovy s rovnoměrnou vnitřní teplotou za definované období pomocí tohoto vztahu:

$$Q_l = H \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot t \quad (J) \quad (6)$$

kde:

θ_i – je vnitřní požadovaná teplota ($^{\circ}\text{C}$),

θ_e – je průměrná venkovní teplota během výpočtového období ($^{\circ}\text{C}$),

t – je délka výpočtového období (s),

H – je měrná tepelná ztráta budovy (W/K). [9]

Měrná tepelná ztráta dané budovy se vypočte ze vztahu:

$$H = H_T + H_V \quad (W/K) \quad (7)$$

kde:

H_T – je měrná tepelná ztráta prostupem tepla vypočítaná podle normy EN ISO 13789,

H_V – je měrná tepelná ztráta větráním. [9]

Měrná tepelná ztráta větráním se dá pomocí zjednodušeného vzorce vypočítat takto:

$$H_V = 0,34 \cdot V_i \quad (W/K) \quad (8)$$

kde:

V_i – je objemový tok vzduchu ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) a závisí na uvažovaném případě větrání. [9]

Měrná tepelná ztráta prostupem tepla se vypočte dle vztahu:

$$H_T = \sum (A_j \cdot U_j \cdot b_j) + A \cdot \Delta U_{tbn} \quad (W/K) \quad (9)$$

kde:

A_j – je plocha j-té ochlazované konstrukce (m^2),

U_j – je součinitel prostupu tepla j-té konstrukce včetně vlivu tepelných mostů [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$],

ΔU_{tbn} – je průměrný vliv tepelných vazeb mezi ochlazovanými konstrukcemi [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$],

b_j – je činitel teplotní redukce j-té konstrukce, stanovuje se z tabulek a je bezrozměrný. [11]

Potřebný součinitel prostupu tepla se odvozuje z tepelného odporu konstrukce R a vypočítá se podle vztahu:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} \quad \left(\frac{W}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right) \quad (10)$$

kde:

R_{si} – je odpor při prostupu tepla na vnitřní straně konstrukce [$(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$],

R_{se} – je odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [$(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$],

R – je odpor konstrukce [$(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$]. [11]

Pokud tedy budeme chtít vypočít celkovou tepelnou ztrátu, tak jednou z variant je postupovat podle výše uvedených vztahů od posledního po první.

3.3.2. Tepelné zisky

Celkové tepelné zisky značíme Q_g a vypočtou se součtem vnitřních a solárních tepelných zisků podle naznačeného vzorce:

$$Q_g = Q_i + Q_s \quad (J) \quad (11)$$

kde:

Q_i – je vnitřní tepelný zisk (J),

Q_s – je solární tepelný zisk (J). [9]

Vnitřní tepelný zisk zahrnuje veškeré teplo vyprodukované ve vytápěném prostoru takovými zdroji, které nejsou součástí otopných systémů. Mezi hlavní patří metabolické zisky (produkují živočichové), zisky tepla z osvětlení nebo jiných přístrojů a také tepelné zisky z rozvodů teplé vody i kanalizačního systému. Pro výpočet je nejvhodnější použít průměrné hodnoty za měsíc, případně za rok. V takových případech bude vztah vypadat následovně:

$$Q_i = [\Phi_{ih} + (1 - b) \cdot \Phi_{iu}] \cdot t = \Phi_i \cdot t \quad (J) \quad (12)$$

kde:

Φ_{ih} – je průměrná energie vnitřních tepelných zisků ve vytápěném prostoru (W),

Φ_{iu} – je průměrná energie vnitřních tepelných zisků v nevytápěném prostoru (W),

Φ_i – je průměrná energie vnitřních tepelných zisků (W),

b – je zmenšující faktor podle normy EN ISO 13789 (-). [9]

Solární tepelné zisky jsou výsledkem dopadajícího slunečního záření v daném místě. Také záleží na orientaci osluněných ploch, charakteristik solárních propustností, pohltivosti osluněných ploch a na trvalém zastínění. V úvahu se většinou berou zasklení, vnitřní stěny a podlahy těch prostorů, které jsou vystaveny slunečnímu záření, stěny za transparentními kryty a transparentní izolace. Jednou z možností vypočítat solární tepelný zisk pro uvedené výpočtové období je tato:

$$Q_s = \sum_j I_{sj} \cdot \sum_n A_{sjn} \quad (J) \quad (13)$$

kde:

I_{sj} – je celková energie globálního záření dopadajícího na jednotku plochy s j orientací během výpočtového období (J/m^2),

A_{sjn} – je solární účinná osluněná plocha povrchu s j orientací (m^2).

První suma j obsahuje zachycení solárního záření pro všechny orientace a druhá suma n pro veškeré povrchy. [9]

Další možností pro výpočet solárního tepelného zisku je tento zjednodušený vztah:

$$Q_s = A_{sol} \cdot G_m \quad (kWh) \quad (14)$$

kde:

A_{sol} – je účinná solární plocha zasklení (m^2),

G_m – je celková měsíční energie globálního slunečního záření v dané lokalitě (kWh/m^2).

3.3.3. Potřeba tepla na vytápění

První z variant výpočtu potřeby tepla pro vytápění je spočítat potřebu tepla pro každé výpočtové období (měsíc). Určí se z tepelných ztrát a tepelných zisků v každém výpočtovém období podle tohoto vzorce:

$$Q_h = Q_1 - \eta \cdot Q_g \quad (J) \quad (15)$$

kde:

Q_h – je potřeba tepla na vytápění v daném období (měsíc) (J),

Q_l – je tepelná ztráta pro dané výpočtové období (J),

Q_g – je tepelný zisk pro dané výpočtové období (J),

η – je faktor využití (-). [9]

Jakmile máme spočtenou potřebu tepla pro vytápění za každé výpočtové období (měsíc), tak je můžeme sečíst a máme hodnotu potřebného tepla za rok.

Druhou variantou výpočtu spotřeby tepla na vytápění je vztah vycházející z normy ČSN 38 3350. Jedná se o výpočet roční spotřeby tepla pro vytápění vycházející z dennostupňové metody. Vztah vypadá takto:

$$Q_{r,vyp} = \frac{24 \cdot 3600 \cdot \varepsilon \cdot Q_{max} \cdot (\theta_i - \theta_{e,pr}) \cdot d}{(\theta_i - \theta_e)} \quad (J \cdot r^{-1}) \quad (16)$$

kde:

Q_{max} – je maximální tepelná ztráta budovy (W),

ε – je opravný součinitel nesoučasnosti tepelné ztráty infiltrací (0,7 – 0,9),

θ_i – je požadovaná výpočtová vnitřní teplota (°C),

θ_e – je nejnižší výpočtová venkovní teplota (°C),

$\theta_{e,pr}$ – je průměrná teplota venkovního vzduchu v topném období (°C),

d – je počet dní otopného období (-). [3]

Této problematice se také věnují některé internetové servery, kde lze tento výpočet bez problému provést, stačí pouze znát vstupní hodnoty. Jeden z vhodných odkazů pro tuto problematiku je třeba tento: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>. [33]

3.3.4. Výpočet tepelné ztráty zvoleného objektu

Abychom mohli provádět výpočet, tak musíme nejprve zjistit vlastnosti konstrukcí a výplní otvorů daného objektu. To je zobrazeno v následujících dvou tabulkách Tab. 3.3.4.1 a Tab. 3.3.4.2. Tyto parametry mi poskytl majitel objektu.

Tab. 3.3.4.1. Parametry výplně otvorů.³¹

Označení	U (W.K ⁻¹ .m ⁻²)	x (m)	y (m)	i _{LV} (m ² .s ⁻¹ .Pa.10 ⁴)	q (-)	Asol (m ²)	PR (%)
DO	1,200	1,00	2,10	0,1	0,75	-	27,6
DV	2,000	0,60	1,97	0,1	0,67	-	99,0
DV2	2,000	0,80	1,97	0,1	0,67	-	99,0
DF	0,800	3,00	2,00	0,1	0,75	4,38	27,0
OK1	0,800	0,70	0,70	0,1	0,75	0,25	49,0
OK2	0,800	1,00	0,70	0,1	0,75	0,40	42,9
OK3	0,800	1,50	1,30	0,1	0,75	1,43	26,7
OK4	0,800	2,10	1,30	0,1	0,75	2,09	23,4
OK5	0,800	0,80	0,80	0,1	0,75	0,36	43,8

Výpočet účinné solární plochy je proveden pomocí následujícího vzorce:

$$A_{sol} = x \cdot y \cdot PR \quad (m^2) \quad (17)$$

³¹ Zdroj: Majitelem doložené parametry od firmy, která montovala v objektu okna a dveře.

Kde:

DO – jsou obvodové dveře,

DV – jsou vnitřní dveře 60cm,

DV2 – jsou vnitřní dveře 80cm,

DF – jsou francouzské dveře,

OK1-OK5 – jsou okna,

y – je velikost výplně na svislé ose (m),

x – je velikost výplně na vodorovné ose (m),

U – je součinitel prostupu tepla ($\text{W.K}^{-1}.\text{m}^{-2}$),

i_{LV} – je součinitel spárové průvzdušnosti ($\text{m}^2.\text{s}^{-1}.\text{Pa}.10^4$),

A_{sol} – je účinná solární plocha zasklení (m^2),

q – je propustnost (-),

PR – je podíl rámu (%).

Tab. 3.3.4.2. Parametry neprůsvitné konstrukce.

Označení	U (W.K ⁻¹ .m ⁻²)	Vrstva	d (mm)	λ (W/m.K ⁻¹)	R _v (m ² .K/W)
SO	0,239	Omítka vápenocementová	20	0,990	0,020
		CP 290/150/65 (1800)	450	0,840	0,536
		EPS 70 F	150	0,039	3,846
		ušlechtilá omítka	2	0,800	0,003
		Σ	622		4,405
	Výpočet byl proveden s těmito hodnotami: R _{si} =0,13m ² .K/W, R _{se} =0,04m ² .K/W, ΔU=0,02W/(m ² K)				
SV1	0,880	Omítka vápenocementová	10	0,880	0,011
		Ytong P3 - 550	150	0,170	0,880
		Omítka vápenocementová	10	0,880	0,011
		Σ	170		0,903
	Výpočet byl proveden s těmito hodnotami: R _{si} =0,13m ² .K/W, R _{se} =0,13m ² .K/W, ΔU=0,02W/(m ² K)				
V2 S	1,144	Omítka vápenocementová	20	0,880	0,023
		CP 290/150/65 (1800)	450	0,770	0,584
		Omítka vápenocementová	20	0,880	0,023
		Σ	490		0,630
	Výpočet byl proveden s těmito hodnotami: R _{si} =0,13m ² .K/W, R _{se} =0,13m ² .K/W, ΔU=0,02W/(m ² K)				
PDL	0,257	Vlysy	20	0,180	0,111
		Malta cementová	45	1,020	0,044
		Polystyren pěnový EPS (25-30)	100	0,035	2,857
		Asfaltované pásy a lepenky	5	0,210	0,024
		Železobeton (2300)	150	1,220	0,123
		Škvára uhelná	150	0,210	0,714
		Σ	470		3,873
	Výpočet byl proveden s těmito hodnotami: R _{si} =0,17m ² .K/W, R _{se} =0,00m ² .K/W, ΔU=0,01W/(m ² K)				
STR	0,164	Sádrokarton	13	0,150	0,083
		Vz. - tok zdola nahoru	38		0,160
		Minerální vlna MVV lis. (350)	60	0,052	1,154
		AIRROCK LD	200	0,037	5,405
		Σ	311		6,803
Výpočet byl proveden s těmito hodnotami: R _{si} =0,10m ² .K/W, R _{se} =0,04m ² .K/W, ΔU=0,02W/(m ² K)					

Kde:

SO – je obvodová stěna,

SV1 a SV2 – jsou vnitřní stěny,

PDL – je podlaha,

STR – je strop,

U – je součinitel prostupu tepla ($\text{W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$),

λ – je součinitel tepelné vodivosti ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}^{-1}$),

R_v – je tepelný odpor konstrukce ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$),

R_{si} – je odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$),

R_{se} – je odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$),

ΔU – je korekční součinitel přestupu tepla $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

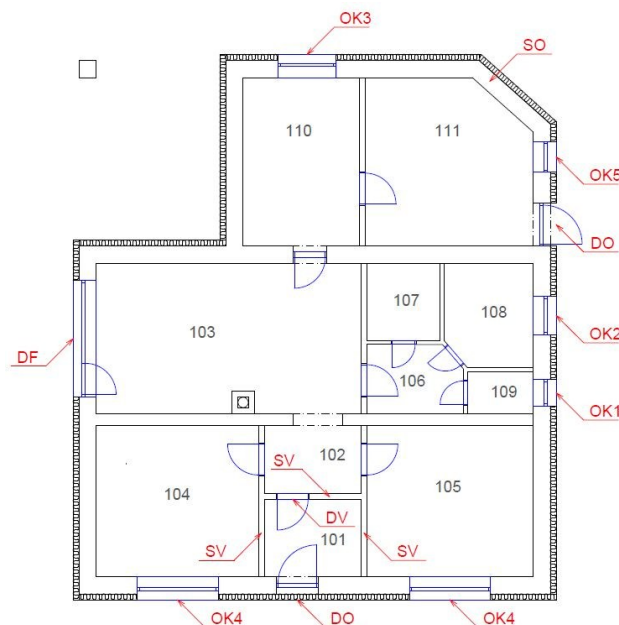
Pro názornost je zde předveden výpočet součinitele přestupu tepla pro obvodovou stěnu (OS). Nejprve se musí vypočítat jednotlivé tepelné odpory daných dílčích konstrukcí. Ty jsou vypočteny pomocí jejich tloušťky d a součinitele tepelné vodivosti λ daného materiálu takto:

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j} = \frac{0,45}{0,840} = 0,536 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W} \quad (18)$$

Dále jsou sečteny všechny tyto dílčí tepelné odpory a výsledek je (v tomto případě) $R_v = 4,405 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$. Aby bylo možné dopočítat součinitel přestupu tepla dané konstrukce, tak musí být zavedeny hodnoty odporů při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce (R_{si}) a na vnější straně konstrukce (R_{se}). Tyto hodnoty je možné najít také v literatuře [11]. Pro obvodovou stěnu bylo použito $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, což vychází z toho, že se jedná o svislý vnitřní povrch pro výpočet v zimním období. To samé, ale pro venkovní povrch je uvedeno v tabulce s hodnotou $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$. Poslední důležitou věcí je nezapomenout na korekční součinitel prostupu tepla, který u tohoto výpočtu je $\Delta U = 0,02 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Výpočet součinitele přestupu tepla tedy bude vypadat následovně:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_v + R_{se}} + \Delta U = \frac{1}{0,13 + 4,405 + 0,04} + 0,02 = 0,239 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (19)$$

Dalším krokem je výpočet tepelných ztrát prostupem a větráním jednotlivých místností. Pro ukázkou zde bude předvedena jedna místnost, a to konkrétně zádveří (101). Na níže uvedeném obrázku Obr. 3.3.4.3 je uveden půdorys řešeného objektu a na něm naznačené označení jednotlivých neprůsvitných konstrukcí i výplní otvorů, to jak pro níže řešenou místnost (101 – Zádveří), tak pro obálku celého RD.



Obr. 3.3.4.3. Půdorys RD s vyznačením neprůsvitných konstrukcí a výplní otvorů.³²

³² Vytvořeno autorem pomocí programu AutoCAD.

Pro řešení místnosti 101 (Zádveří) je vytvořena tabulka Tab. 3.3.4.4. Kde jsou vepsány jednotlivé konstrukce podle výše uvedeného půdorysu a hodnoty těchto konstrukcí podle tabulek Tab. 3.3.4.1. a Tab. 3.3.4.2. V tabulce se dále nacházejí dílčí výpočty měrných tepelných ztrát H i rozdíl teplot na rozhraní prostředí Δt , který vychází z venkovní výpočetní teploty $t_e = -15\text{ °C}$ a vnitřní $t_i = 20\text{ °C}$. Pod tabulkou je vzorově předveden výpočet dílčí měrné tepelné ztráty a následně měrná tepelná ztráta prostupem H_{Tm} i větráním H_{Vm} celé místnosti. Z těchto hodnot se pro danou místnost vypočetla tepelná ztráta prostupem Φ_{Tm} a větráním Φ_{Vm} . Tyto a další hodnoty jsou pak uvedeny v Tab. 3.3.4.5.

Tab. 3.3.4.4. Měrná tepelná ztráta místnosti 101 – Zádveří

Označení konstrukcí	x (m)	y (m)	U (W.K ⁻¹ .m ⁻²)	Δt (K)	b	PO	A (m ²)	AO (m ²)	AR (m ²)	H (W/K)
SO	2,80	2,90	0,239	35	1,00	1	8,1	2,1	6,0	1,4
DO	1,00	2,10	1,200	35	1,00	1	2,1	2,1	2,1	2,5
SV	2,60	2,90	0,880	0	0,00	0	7,5	0,0	7,5	0,0
SV	2,80	2,90	0,880	0	0,00	1	8,1	1,6	6,5	0,0
DV	0,80	1,97	2,000	0	0,00	1	1,6	1,6	1,6	0,0
SV	2,60	2,90	0,880	0	0,00	0	7,5	0,0	7,5	0,0
PDL	2,60	2,80	0,257	15	0,42	0	7,3	0,0	7,3	0,8
STR	2,60	2,80	0,164	32	0,91	0	7,3	0,0	7,3	1,1

Kde:

SO – je obvodová stěna,
DO – jsou dveře obvodové,
SV – je vnitřní stěna,
DV – jsou vnitřní dveře,
PDL – je podlaha,
STR – je strop,

U – je součinitel prostupu tepla (W.K⁻¹.m⁻²),
 Δt – je rozdíl teplot na rozhraní dvou prostředí
 $\Delta t = (t_i - t_e)$, (K),
 b – je činitel teplotní redukce,
 PO – je počet otvorů,
 A – je plocha (m²),
 AO – je plocha otvorů (m²),
 AR – je plocha konstrukce (m²),
 H – je měrná tepelná ztráta (W/K).

Celková měrná tepelná ztráta prostupem je u této místnosti rovna $H_{Tm} = 5,8\text{ W/K}$ a je zjištěna součtem dílčích měrných tepelných ztrát. Pro ukázkou je zde vyobrazen výpočet dílčí měrné tepelné ztráty z druhého řádku, tedy pro konstrukci DO (dveře obvodu), vztah vychází z vztahu (9) a vypadá takto:

$$H = U \cdot b \cdot AR = 1,2 \cdot 1 \cdot 2,1 = 2,5\text{ W/K} \quad (20)$$

Dále pomocí vztahu (8) je vypočtena měrná tepelná ztráta větráním, která vychází z hygienického požadavku výměny vzduchu. Výpočty vypadají takto:

$$V_i = V_{np} = n_p \cdot V_{mi} = n_p \cdot A_p \cdot h = 0,5 \cdot 5 \cdot 2,6 = 6,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$H_{Vm} = 0,34 \cdot V_i = 0,34 \cdot 6,5 = 2,2\text{ W/K} \quad (21), (22)$$

V těchto vztazích se objevují veličiny, které zde dosud nebyly popsány a proto je na místě je zde uvést. Patří mezi ně objem hygienické výměny vzduchu V_{np} , který se vypočte násobením intenzity přirozené výměny vzduchu n_p a celkovým objemem místnosti V_{mi} . Výpočet objemu místnosti je již jednoduchý a je to plocha místnosti A_p vynásobena výškou místnosti h .

Nejdůležitější a nejučelnější informací o dané místnosti (101 – Zádveří) je celková tepelná ztráta. Ta vychází ze součtu tepelné ztráty prostupem Φ_{Tm} a tepelné ztráty větráním Φ_{Vm} . Tyto výpočty jsou provedeny za pomoci tohoto vztahu:

$$\Phi = H \cdot (t_i - t_e) \quad (W) \quad (23)$$

kde:

Φ – je tepelný zisk nebo tepelná ztráta (W),

H – je měrná tepelná ztráta (W/K),

t_i – je teplota interiéru (°C),

t_e – je teplota exteriéru (°C).

Tento vztah je použit z literatury [11] a konkrétní výpočty využívají dřívější vypočtené hodnoty a vypadají takto:

$$\Phi_{Tm} = H_{Tm} \cdot (t_i - t_e) = 5,8 \cdot (20 - (-15)) = 203 \text{ W}$$

$$\Phi_{Vm} = H_{Vm} \cdot (t_i - t_e) = 2,2 \cdot (20 - (-15)) = 77 \text{ W}$$

$$\Phi_{cm} = \Phi_{Tm} + \Phi_{Vm} = 203 + 77 = 280 \text{ W} \quad (24), (25), (26)$$

Tyto a ostatní důležité hodnoty jsou uvedeny v celkové tabulce Tab. 3.3.4.5. níže.

Tab. 3.3.4.5. Vypočtené hodnoty tepelných ztrát všech místností.

Číslo Míst.	účel	t_i (°C)	n_p (l/h)	V_{mi} (m ³)	V_{np} (m ³ /h)	A_p (m ²)	H_{Tm} (W/K)	H_{Vm} (W/K)	Φ_{Tm} (W)	Φ_{Vm} (W)	Φ_{cm} (W)
101	Zádveří	20	0,5	13,0	6,5	5,0	5,8	2,2	203	77	280
102	Chodba 1	20	0,5	11,4	5,7	4,4	1,5	1,9	53	68	120
103	Ob. pokoj + jid.	20	0,5	69,5	34,8	26,7	17,8	11,8	623	414	1037
104	Pokoj 1	20	0,5	42,6	21,3	16,4	13,7	7,2	480	253	733
105	Pokoj 2	20	0,5	43,6	21,8	16,8	13,6	7,4	476	259	735
106	Chodba 2	20	0,5	11,2	5,6	4,3	0,8	1,9	28	67	95
107	Tech. místnost	18	0,1	9,9	1,0	3,8	-0,8	0,3	-26	11	-15
108	Koupelna	24	1,0	15,7	15,7	6,0	7,8	5,3	304	208	512
109	WC	20	1,0	4,9	4,9	1,9	1,2	1,7	42	58	100
110	Kuchyně	20	0,5	35,5	17,8	13,6	11,9	6,0	417	211	628
111	Dílna	20	0,5	48,1	24,1	18,5	13,6	8,2	476	286	762
Σ				305,4	159,0	117,4	86,9	54,1	3074	1913	4988

Z této podkapitoly, respektive z výše uvedených výpočtů a tabulek je patrné, že tepelná ztráta větráním objektu je 1913 W, tepelná ztráta prostupem konstrukcí objektu je 3074 W a celková tepelná ztráta objektu je $\Phi_e = 4988 \text{ W}$. K tomuto výsledku se došlo součtem tepelných ztrát všech místností nacházejících se v řešeném objektu.

3.3.5. Výpočet potřeby tepla na vytápění zvoleného objektu

Pro výpočet potřeby tepla pro vytápění je potřeba znát okrajové podmínky. Ty jsou pro obec ležící v bezprostřední blízkosti Ostravy uvedeny v následujících dvou tabulkách. V první tabulce Tab. 3.3.5.1. jsou uvedeny průměrné hodnoty teploty v jednotlivých měsících a také délky jednotlivých měsíců. V druhé tabulce Tab. 3.3.5.2. jsou uvedena data dopadu slunečního záření v jednotlivých měsících podle světových stran. Tyto hodnoty poskytl majitel objektu.

Tab. 3.3.5.1. Okrajové podmínky výpočtu podle TNI 73 0329.

Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
t_e (°C)	-1,0	1,0	4,0	9,0	14,6	17,0	18,2	18,8	13,8	9,4	4,0	-0,5
Délka (h)	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744

Tab. 3.3.5.2. Energie globálního slunečního záření podle světových stran (kWh/m²).

Svět. strana	Měsíc											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
J	50	56	82	95	97	87	93	100	95	75	36	29
JZ	44	51	76	86	98	88	97	100	86	71	32	26
Z	20	28	53	72	93	88	93	88	64	48	18	12
SZ	12	20	37	49	73	73	75	63	40	25	11	9
SZ	7	13	23	32	47	52	47	38	24	17	9	6
SV	12	20	36	51	79	91	78	64	38	21	10	9
V	15	26	51	74	104	115	100	88	60	34	14	11
JV	37	47	73	92	109	108	103	101	82	51	25	23
H	23	40	79	118	161	166	162	143	96	57	24	17

Z předchozí podkapitoly známe parametry konstrukcí a výplní otvorů. V tabulce Tab. 3.3.5.3. níže jsou opět zobrazeny, ale už pouze důležité výsledné hodnoty a pouze pro obálku (systémová hranice) objektu. Z této a z dvou výše uvedených tabulek budou brány hodnoty pro výpočet potřeby tepla na vytápění pro dané měsíce v roce.

Také zde bude vzorově proveden výpočet, aby byl zobrazen postup řešení dané problematiky. V této tabulce není zobrazena hodnota měrné tepelné ztráty větráním, jelikož tato hodnota je složena z dílčích hodnot měrných tepelných ztrát větráním pro jednotlivé místnosti, nikoliv pro jednotlivé konstrukce. Proto použijem již výslednou hodnotu, která byla zjištěna v předchozí kapitole v tabulce Tab. 3.3.4.5. a je $H_V = 54,1 \text{ W/K}$.

Tab. 3.3.5.3. Konstrukce systémové hranice budovy

Konstrukce	Svět. strana	Prostředí	b	U W/(m ² .K)	PV	AR (m ²)	H (W/K)
SO	JZ	Vnější	1,00	0,239	3	27,8	6,6
DO	JZ	Vnější	1,00	1,200	1	2,1	2,5
OK4	JZ	vnější	1,00	0,800	2	5,4	4,4
SO	SZ	Vnější	1,00	0,239	1	34,6	8,3
DF	SZ	Vnější	1,00	0,800	1	6,0	4,8
SO	SV	Vnější	1,00	0,239	1	28,1	6,6
OK3	SV	Vnější	1,00	0,800	1	2,0	1,6
SO	JV	Vnější	1,00	0,239	4	31,3	7,4
OK2	JV	Vnější	1,00	0,800	1	0,7	0,6
OK1	JV	Vnější	1,00	0,800	1	0,5	0,4
OK5	JV	Vnější	1,00	0,800	1	0,6	0,6
DO	JV	Vnější	1,00	1,200	1	2,1	2,5
SO	V	Vnější	1,00	0,239	0	7,6	1,8
STR		-12	0,91	0,164	0	149,5	22,4
PDL		zemina	0,68	0,257	0	149,5	16,3
ΔU_{em}			1	0,03		447,9	13,4
Σ							100,2

Kde:

U – je součinitel prostupu tepla (W.K⁻¹.m⁻²),

b – je činitel teplotní redukce,

PV – je počet výplní,

AR – je plocha konstrukce (m²),

H – je měrná tepelná ztráta (W/K).

V této tabulce Tab. 3.3.5.3. jsou uvedené konstrukce obálky objektu a ty byly zjištěny z obrázku Obr. 3.3.4.3. V tabulce jsou mimo jiné vidět hodnoty měrných tepelných ztrát konstrukcí a celkovou měrnou tepelnou ztrátou prostupem. Z této hodnoty a okrajových podmínek vychází tepelná ztráta Q_l pro jednotlivé měsíce, která je uvedena v tabulce Tab. 3.3.5.4. Také se tam nachází hodnoty tepelného zisku Q_g a hlavně celková potřeba tepla na vytápění Q_h .

Tab. 3.3.5.4. Potřeba tepla na vytápění.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Σ
Q_T (kWh)	1566	1279	1193	794	403	216	134	89	447	790	1154	1528	
Q_V (kWh)	845	691	644	428	217	117	72	48	242	427	623	825	
Q_I (kWh)	2411	1970	1837	1222	620	333	207	138	689	1217	1778	2353	
Q_i (kWh)	260	235	260	252	260	252	260	260	252	260	252	260	
Q_s (kWh)	284	362	573	698	879	850	871	826	639	463	212	178	
Q_g (kWh)	544	597	834	950	1139	1102	1131	1086	891	723	464	438	
η	0,996	0,988	0,958	0,833	0,455	0,259	0,157	0,109	0,610	0,910	0,993	0,998	
Q_h (kWh)	1869	1381	1038	431	101	48	29	19	145	559	1317	1916	8855

Kde:

Q_T – je tepelná ztráta prostupem (kWh),

Q_V – je tepelná ztráta větráním (kWh),

Q_I – je celková tepelná ztráta (kWh),

Q_i – je vnitřní tepelný zisk (kWh),

Q_s – je solární tepelný zisk (kWh),

Q_g – je celkový tepelný zisk (kWh),

Q_h – je celková potřeba tepla (kWh),

η – je účinnost využití tepelných zisků.

V posledním řádku tabulky Tab. 3.3.5.4. jsou uvedeny hodnoty celkové potřeby tepla pro dané měsíce v kWh. Pokud se sečtou hodnoty všech měsíců, tak dostaneme celkovou potřebu tepla za rok a to činí **$Q_{h,r} = 8855 \text{ kWh/rok}$** .

Výpočet vychází z podkapitol 3.3.1., 3.3.2. a 3.3.3. Níže bude ve zkratce předveden výpočet potřeby tepla pro měsíc listopad, tedy pro sloupec označený 11 v tabulce Tab. 3.3.5.4. Nejprve je třeba vypočítat tepelnou ztrátu:

$$Q_1 = Q_T + Q_V = \frac{[H_T \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot t]}{3,6 \cdot 10^6} + \frac{[H_V \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot t]}{3,6 \cdot 10^6} \quad (\text{kWh})$$

$$Q_1 = \frac{[100,2 \cdot (20-4) \cdot 720 \cdot 3600]}{3,6 \cdot 10^6} + \frac{[54,1 \cdot (20-4) \cdot 720 \cdot 3600]}{3,6 \cdot 10^6} = 1154 + 623 = 1778 \frac{\text{kWh}}{\text{měsíc}}$$

(27), (28)

Vztah vychází ze vzorce (6) a následující výpočet tepelných zisků vychází ze vztahu (11). Výpočet tepelných zisků se vlastně skládá ze součtu vnitřních a solárních tepelných zisků, ty jsou určeny z okrajových podmínek a z parametrů objektu takto:

$$Q_g = Q_i + Q_s = \frac{\Phi_i \cdot A_p \cdot t}{3,6 \cdot 10^6} + A_{sol} \cdot G_m$$

$$Q_g = \frac{2,98 \cdot 117,4 \cdot 720 \cdot 3600}{3,6 \cdot 10^6} + 11 \cdot 19,3 = 252 + 212 = 464 \frac{\text{kWh}}{\text{měsíc}}$$

(29), (30)

Ve výše uvedeném výpočtu byla použita hodnota vnitřních tepelných zisků $\Phi_i = 2,98 \text{ W/m}^2$ což vychází z výpočtových podmínek podle TNI 73 0329. Dále bylo použito $A_{sol} = 11 \text{ m}^2$, to odpovídá sumě všech skleněných výplní v objektu a dílčí hodnoty jsou uvedeny v tabulce Tab. 3.3.4.1. Důležité je také správně určit pomocí aritmetického průměru celkovou dopadající měsíční energii, ta je v daném měsíci $G_m = 19,3 \text{ kWh/m}^2$.

Posledním krokem je vypočíst celkovou potřebu tepla a to tímto způsobem:

$$Q_h = Q_1 - \eta \cdot Q_g = 1778 - 0,993 \cdot 464 = 1317 \frac{\text{kWh}}{\text{měsíc}} \quad (31)$$

Dalším a mnohem jednodušším způsobem je zjistit potřeby tepla na vytápění pomocí vztahu (16). Tento výpočet není tak přesný a hlavně nevidíme potřebu tepla pro jednotlivé měsíce, ale zase je nenáročný. Výpočet tedy vypadá takto:

$$Q_{r,vyp} = \frac{24 \cdot 3600 \cdot \varepsilon \cdot Q_{max} \cdot (\theta_i - \theta_{e,pr}) \cdot d}{(\theta_i - \theta_e) \cdot 3,6 \cdot 10^6} = \frac{24 \cdot 3600 \cdot 0,74988 \cdot (20-4) \cdot 229}{(20 - (-15)) \cdot 3,6 \cdot 10^6} = 8772 \text{ kWh/rok}$$

(32)

Tento výpočet vychází z toho, že průměrná roční teplota v topných dnech je $4 \text{ }^\circ\text{C}$ a počet topných dní je v dané lokalitě 229.

Závěrem této podkapitoly lze tedy říct, že potřeba tepla pro vytápění řešeného objektu na rok je přibližně **$Q_{h,r} = 8855 \text{ kWh}$** .

3.4. Energie potřebná pro TUV

3.4.1. Požadavky na TUV

Veškeré části a zařízení spojené s přípravou teplé užitkové vody (TUV) musí splňovat normy ČSN 06 0320 a ČSN 06 0830. Pravidla pro dodávku TUV a měrné ukazatele spotřeby tepla pro přípravu TUV stanovuje vyhláška č. 152/2001 Sb. Ministerstva průmyslu a obchodu. Další vyhláška č. 151/2001 Sb. Stanovuje podrobnosti k účinnosti užití energie při rozvodu energie a vnitřním rozvodu energie TUV. Pro jednotlivé části systému platí dané zásady, jež jsou uvedeny níže. [3]

Ohřívače a zásobníky:

Tyto části systému musí být umístěny tak, aby byly snadno přístupné. Musí být dodržen nejvyšší pracovní přetlak vyznačený na štítku. Pro snížení účinku koroze by neměla teplota v zásobníku a ohřívači přesáhnout 60 °C. Výpočtová teplota TUV na výstupu z ohřívače je u ústředního zařízení i u dálkové přípravy 55 °C. Teplota TUV je vyhláškou stanovena v rozmezí 45 až 60 °C v místě odběru. Záloha závisí na druhu ohřívačů a důležitosti. [3]

Armatury:

Potřebné armatury k obsluze musí být vždy umístěny na přístupném místě. Potrubí jsou v jednotlivých úsecích propojení vždy vybaveny uzavírací armaturou. [3]

Měření spotřeby TUV:

Měření množství TUV v zúčtovacím období upravuje § 7 vyhlášky č. 152/2001 Sb. [3]

3.4.2. Vztahy pro různé potřeby TUV

Mytí osob:

Potřeba teplé užitkové vody pro mytí osob v dané periodě je stanovena podle tohoto vztahu:

$$V_o = n_d \cdot V_d \quad (m^3 \cdot per^{-1})$$
$$\Sigma V_d = \Sigma(n_d \cdot U_o \cdot T_d \cdot p_d) \quad (m^3 \cdot per^{-1}) \quad (33), (34)$$

Kde:

n_d – je počet dávek,

U_o – je objemový průtok TUV o teplotě 55°C ($m^3 \cdot h^{-1}$)

T_d – je doba dávky (h),

p_d – je součinitel prodloužení doby dávky,

V_o – je objem pro mytí osob (m^3),

V_d – je objem dávky (m^3). [3]

Mytí nádobí:

Jedná se o potřebu teplé užitkové vody pro mytí nádobí v dané periodě a je dáno vztahem:

$$V_j = n_j \cdot V_d \quad (m^3 \cdot per^{-1}) \quad (35)$$

Kde:

n_j – je počet jídel,

V_d – je objem dávky (m^3),

V_j – je objem pro mytí nádobí (m^3). [3]

Úklid:

Jde o potřebu teplé užitkové vody pro úklid a mytí podlahy v dané periodě. To je určeno ze vztahu takto:

$$V_u = n_u \cdot V_d \quad (m^3 \cdot per^{-1}) \quad (36)$$

Kde:

n_u – je počet (výměr) ploch,

V_d – je objem dávky (m^3),

V_u – je objem pro úklid (m^3). [3]

Celková potřeba TUV:

Vztah pro celkovou potřebu teplé užitkové vody je dán sumou všech výše uvedených dílčích potřeb TUV a vypadá takto:

$$V_{2P} = V_o + V_j + V_u \quad (m^3 \cdot per^{-1}) \quad (37)$$

Kde:

V_o – je objem pro mytí osob (m^3),

V_j – je objem pro mytí nádobí (m^3),

V_u – je objem pro úklid (m^3),

V_{2P} – je celkový objem potřeby TUV (m^3). [3]

Potřeba TUV o teplotě 55 °C pro jednotlivé typy činností je uvedena v tabulce Tab. 3.4.2.1. Tabulka tedy uvádí dobu dávek jednotlivých činností a jejich objem. [3]

Tab. 3.4.2.1. Potřeba TUV o teplotě 55 °C.³³

Činnost	Doba dávky T_d (hod)	Objem dávky V_d (m^3)
Mytí osob		
Umyvadlo $U_o = 0,14 m^3 \cdot h^{-1}$		
Mytí rukou	0,014	0,002
Mytí těla	0,071	0,010
Sprcha $U_o = 0,23 m^3 \cdot h^{-1}$	0,110	0,025
Vana $U_o = 0,47 m^3 \cdot h^{-1}$	0,085	0,040
(délka vany 1600mm)	0,170	0,080
Mytí nádobí	$U_o = 0,30 m^3 \cdot h^{-1}$ $t = 55 \text{ až } 80 \text{ } ^\circ\text{C}$	0,001
Pouze výdej jídel		
Vaření + výdej	Na jedno jídlo	0,002
Mytí podlahy + úklid	$U_o = 0,30 m^3 \cdot h^{-1}$ $t = 55 \text{ } ^\circ\text{C}$ na 100 m^2	0,020

³³ Zdroj: DAHLSVEEN T., PETRÁŠ D., HIRŠ J., Energetický audit budov., str. 68

V následující tabulce označené Tab. 3.4.2.2. je již stanovený objem TUV pro jednu osobu a den. Také tam je zobrazena velikost jednotlivých dávek a počet těchto dávek. Výpočet těchto hodnot vychází z výše uvedených vztahů (32), (33), (34), (35), (36) a z tabulky Tab. 3.4.2.1.

Uvedená hodnota celkového objemu se pak využívá ve výpočtu potřeby tepla na ohřátí TUV. Tento výpočet je proveden v podkapitole 3.4.4.

Tab. 3.4.2.2. Potřeba TUV pro 1 osobu na den (v bytovém objektu).³⁴

Parametr	Značka	Jednotka	Baterie			
			umyvadlo	dřez	sprcha	vana
Počet dávek	n_d	-	3	0,8	1	0,3
Objem dávek	V_d	m ³	0,03	0,002	0,025	0,025
Součet objemu dávek	V_{2p}	m ³	0,082			

3.4.3. Potřeba tepla na TUV

Denní potřebu tepla pro ohřátí TUV je důležité znát proto, aby se dala určit roční spotřeba tepla pro TUV. Z té pak například víme jak dimenzovat danou soustavu, ale hlavně je znám další z parametrů energetické bilance. Vztah pro denní spotřebu tepla na ohřev TUV tedy je:

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \frac{q \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} \quad (kWh) \quad (38)$$

Kde:

$Q_{TUV,d}$ – je denní potřeba tepla pro ohřev TUV (kWh),

z – je koeficient energetických ztrát,

q – je měrná hmotnost (kg/m³),

c – je měrná tepelná kapacita (J.kg⁻¹.K⁻¹),

t_1 – je teplota studené vody (průměrná), (°C),

t_2 – je teplota ohřáté vody (°C). [33]

Koeficient energetických ztrát systémů pro přípravu TUV je označen z a pro běžné stavby se uvažuje jeho hodnota mezi 50 a 100 %. Záleží na provedení rozvodu a době cirkulace. V nových stavbách má z hodnotu maximálně $z = 0,5$. Ve starších stavbách je hodnota $z = 2$ až 4. [33]

Je-li znám vztah pro denní spotřebu tepla pro TUV, pak lze použít vztah pro roční spotřebu tepla TUV, který vypadá takto:

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d) \quad (kWh/rok) \quad (39)$$

Kde:

$Q_{TUV,d}$ – je denní potřeba tepla pro ohřev TUV (kWh),

$Q_{TUV,r}$ – je roční potřeba tepla pro ohřev TUV (kWh/rok),

d – je délka topného období (dny),

N – počet pracovních dní soustavy v roce (dny),

t_{svl} – je teplota studené vody v létě, (°C),

t_{svz} – je teplota studené vody v zimě, (°C),

t_2 – je teplota ohřáté vody (°C). [33]

³⁴ Zdroj: DAHLSVEEN T., PETRÁŠ D., HIRŠ J., Energetický audit budov., str. 68

V tomto vztahu se ještě vyskytuje číslo 0,8. Tato hodnota je součinitel vyjadřující snížení spotřeby teplé užitkové vody v letním období oproti období zimnímu. [3]

Pro výpočet je také vytvořena kalkulačka na těchto webových stránkách: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>

3.4.4. Výpočet potřeby tepla na TUV pro zvolený objekt

Výpočet je proveden podle podkapitoly 3.4.3., tedy nejprve se vypočte denní potřeba tepla pro ohřev TUV. K tomu je zapotřebí znát měrnou hmotnost vody a měrnou tepelnou kapacitu vody, tyto hodnoty lze nalézt v matematicko fyzikálních tabulkách. Dále je zapotřebí vědět průměrnou teplotu studené vody, v případě řešeného objektu je to 10 °C, a teplotu ohřáté vody. Majitel objektu stanovil teplotu ohřáté vody na 55 °C, což splňuje dané vyhlášky. Posledním, ale taktéž důležitým parametrem je koeficient energetických ztrát, který je podle objektu určen na hodnotu 0,5. Výpočet tedy vypadá následovně:

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \frac{q \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} = (1 + 0,5) \cdot \frac{1000 \cdot 4186 \cdot 0,328 \cdot (55 - 10)}{3600} = 25,7 \text{ kWh} \quad (40)$$

Do výpočtu byla vložena hodnota celkové potřeby teplé vody na jeden den $V_{2p} = 0,328 \text{ m}^3$. To bylo určeno podle hodnoty z tabulky Tab. 3.4.2.2. a vynásobením počtem osob v objektu, tedy čtyřmi.

Druhým a zároveň posledním výpočtem této podkapitoly je výpočet roční potřeby tepla pro ohřev TUV. Výpočet byl proveden na základě okrajových podmínek, tedy doba topného období je v místě objektu 229 dní, teplota studené vody v zimě 5 °C a v létě 15 °C. Soustava pracuje po celý rok, a proto výpočet vypadá takto:

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d)$$

$$Q_{TUV,r} = 25,7 \cdot 229 + 0,8 \cdot 25,7 \cdot \frac{55 - 15}{55 - 5} \cdot (365 - 229)$$

$$Q_{TUV,r} = 8122 \text{ kWh/rok} \quad (41)$$

Roční potřeba energie pro ohřev teplé užitkové vody pro 4 osoby je $Q_{TUV,r} = 8122 \text{ kWh/rok}$.

3.5. Energie potřebná pro osvětlení a el. spotřebiče

V řešeném objektu se v době tvorby této práce ještě nebydlelo, jelikož byl objekt stále v rekonstrukci, proto nemohlo proběhnout měření o reálné spotřebě elektrické energie. Další variantou, jak lze zjistit spotřebu elektrické energie, je z faktur za elektřinu v období před rekonstrukcí. Tato varianta však není vhodná v řešeném objektu, jelikož jak bylo napsáno v kapitole 3.1., objekt prošel tak rozsáhlou změnou, a zároveň budou použity nové spotřebiče i světelné zdroje, že výsledná roční spotřeba bude zcela odlišná od spotřeby před rekonstrukcí.

Proto bude v této kapitole, na základě konzultace s majitelem, určený odhad spotřeby elektrické energie pomocí příkonu světelných zdrojů, el. spotřebičů a jejich odhadované doby používání.

3.5.1. Osvětlovací soustava v obytných domech

Jeden z největších podílů na spotřebě elektrické energie má u obytných budov právě světelná technika. Z celkové spotřeby je její podíl více než 10 % a v době špičky přibližně jednou čtvrtinou. Je třeba důkladně navrhnout osvětlovací soustavu, aby byla hospodárná. Je třeba se řídit těmito body:

- Vybrat světelné zdroje s vysokými měrnými výkony,
- použít svítidla s vysokou účinností,
- racionálně provozovat osvětlovací soustavy.

Z hlediska energetické náročnosti se hodnotí osvětlovací soustavy podle velikosti instalovaného příkonu na metr čtverečný daného osvětlovaného prostoru. To je hlavním ukazatelem racionálního provozu. Proto se při návrhu dbá na zachování světelných parametrů, ale zároveň je snaha snížit náklady, a tedy snížit spotřebu světelných zdrojů. Toho se dosáhne použitím světelných zdrojů s vysokou účinností. [3]

Mezi základní parametry světelných zdrojů, jako je např. životnost, patří také měrný výkon. Ten udává efektivnost přeměny elektrické energie na účinnou světelnou energii a vypočte se ze vztahu:

$$\eta = \frac{\phi}{P} \quad (-) \quad (42)$$

Kde:

η – je měrný výkon (-),

ϕ – je světelný tok ze zdroje světla (lm),

P – je příkon zdroje světla (W). [3]

Teoretické maximum je 680 lm.W^{-1} , to ale dnešní světelné zdroje zdaleka nedosahují. V současnosti nejúčinnější světelné zdroje dosahují 200 lm.W^{-1} , oproti tomu již upadající klasické žárovky mají přibližně $10 - 15 \text{ lm.W}^{-1}$. Také je uváděno, že klasická žárovka přemění 92 % elektrické energie na teplo a pouhých 8 % na světlo. Dnes velice často používané kompaktní zářivky se stejnou patící jako u žárovek, nepotřebující předřadníky ani startéry (obsahují uvnitř) mají pětinašobně vyšší účinnost a desetinásobně delší životnost. [3]

Poslední dobou se také stále více a více používají jako zdroje světla LED žárovky. Jejich hlavními výhodami je nízká spotřeba, dlouhá životnost, okamžitý náběh na 100 %, velký měrný výkon (100 lm.W^{-1}). Jejich asi jedinou nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady ve srovnání s kompaktními zářivkami. [26]

Spotřeba elektrické energie se u osvětlovacích soustav vypočte velice jednoduše, je dána součinem doby provozu soustavy (svícení) a instalovaným příkonem světelných zdrojů. Náklady jsou pak přímo úměrné sazbě za jednu kWh. [3]

3.5.2. Návrh a výpočet spotřeby osvětlovací soustavy v řešeném objektu

Návrh jednotlivých svítidel byl řešen přímo s majitelem objektu. Ten určil, která svítidla v daných místnostech budou, a zároveň po konzultaci určil jejich světelné zdroje.

V objektu jsou použity moderní světelné zdroje, hlavně LED žárovky až na výjimky, kde bylo určeno, že se investice do LED osvětlení nevyplátí. V níže uvedené tabulce Tab. 3.5.2.1. jsou uvedeny svítidla jednotlivých místností objektu, použití světelných zdrojů, jejich příkon a spotřeba za den při odhadnuté době svitu. Denní spotřeba se zjistí pomocí součinu počtu světelných zdrojů (SZ), příkonu SZ a denního využití.

Tab. 3.5.2.1. Použitá svítidla v řešeném objektu a jejich denní spotřeba.

Číslo míst.	Místnost	Typ svítidla	Typ světelného zdroje	Počet SZ (ks)	Příkon SZ (W/ks)	Denní využití (h)	Denní spotřeba (Wh/den)
101	Zádveří	stropní s 1 SV	LED žárovka	1	10	3	30
102	Chodba 1	stropní s 1 SV	LED žárovka	1	10	3	30
103	Ob. pokoj + jid.	stropní s 2 SV	LED žárovka	2	7	3	42
		stropní s 5 SV	LED žárovka	5	7	4	140
		lampa s 2 SV	halogenová žár.	2	18	2	72
104	Pokoje 1	stropní s 3 SV	LED žárovka	3	10	3,5	105
		stolní lampa	halogenová žár.	1	28	2	56
105	Pokoje 2	stropní s 3 SV	LED žárovka	3	10	2	60
		stolní lampa	halogenová žár.	1	28	1,5	42
106	Chodba 2	stropní s 1 SV	LED žárovka	1	10	3,5	35
107	Tech. místnost	stropní s 2 SV	žárovka	2	40	0,5	40
108	Koupelna	5x bodovek	LED bodovka	5	5	2,5	63
109	WC	3x bodovky	LED bodovka	3	5	2	30
110	Kuchyně	8x bodovek	LED bodovka	8	7	3,5	196
111	Dílna	stropní s 2 SV	zářivková trubice	2	18	5	180
	Venkovní osvětlení	3x ven. lampa	LED žárovka	5	10	2	100
Σ							1221

Ve výše uvedené tabulce byla vypočtena přibližná denní spotřeba elektrické energie pro svícení. Výpočet je pouze přibližný, jelikož denní využití jednotlivých svítidel uvedených v tabulce je průměr orientačních hodnot. Z této celkové denní spotřeby lze vypočítat spotřebu roční a to tak, že hodnotu denní spotřeby vynásobíme 365 (počet dní v roce). Výpočet roční spotřeby elektrické energie potřebné pro svícení vypadá takto:

$$Q_{osv,r} = Q_{osv,d} \cdot 365 = 1,221 \cdot 365 = 446 \text{ kWh} \quad (43)$$

Kde:

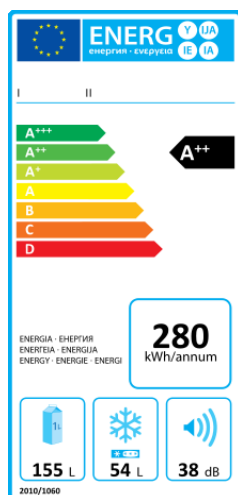
$Q_{osv,r}$ – je spotřeba elektrické energie pro osvětlení za rok (kWh),

$Q_{osv,d}$ – je spotřeba elektrické energie pro osvětlení za den (kWh).

3.5.3. Problematika spotřeby el. spotřebičů

U některých spotřebičů elektrické energie (pračka, lednička, atd.) lze zjistit již z jejich energetických štítků, zda spotřebovává hodně el. energie nebo málo. Symbolizují to písmena uvedená na daném štítku od písmene A po písmeno G. Dnes se již neprodávají téměř žádné spotřebiče s energetickou třídou E a horší, ale naopak jsou čím dál úspornější spotřebiče, a tak vznikly kategorie A+, A++ a do roku 2013 nejúspornější energetickou třídou A+++.

Na obrázku Obr. 3.5.3.1. je pro ukázkou zobrazen energetický štítek elektrického spotřebiče. Je na něm zobrazena nejen energetická náročnost, ale mimo jiné také hlučnost a spotřeba elektrické energie za rok. [29]



Obr. 3.5.3.1. Energetický štítek lednice používaný od roku 2010.³⁵

Pokud některé spotřebiče energetický štítek nemají anebo na energetickém štítku není spotřeba vyčíslena, tak je třeba provést výpočet ke zjištění elektrické spotřeby. K tomu musí být známa základní veličina daného spotřebiče a tou je příkon. Příkon je uváděn ve wattech (W) a většinou je jeho hodnota na štítku el. spotřebiče ze spodu nebo zezadu. Příkon daného spotřebiče udává spotřebu daného spotřebiče během jejich provozu.

Vždy není spotřebič stále v provozu. Například u varné desky je uveden příkon 2 kW, ale deska se nahřívá a pak jak je nahřáta na určitou teplotu, tak vypne do doby, než klesne pod danou teplotu a pak opět zapne. To znamená, že například při vaření na varné desce hodinu jede varná deska na maximální příkon pouze 45 minut.

Elektrickou spotřebu spotřebičů, které mají stálý odběr, jsou vypočteny podle jednoduchého vzorce. Stačí pouze znát jejich příkon a počet hodin v provozu za den, případně rok. Pokud tyto dvě veličiny znásobíme, tak máme spotřebu v kWh. [29]

3.5.4. Návrh a výpočet spotřeby el. spotřebičů v řešeném objektu

V níže uvedené tabulce Tab. 3.5.4.1. je vypsán seznam elektrických spotřebičů, které mají relativně velký příkon, a proto podstatně ovlivňují celkovou spotřebu elektrické energie za rok. Tabulka také označuje typ výrobku a jeho spotřebu při daném časovém využití. Spotřebiče si vybral sám majitel objektu a jejich denní využití bylo také určeno po konzultaci s ním. V tabulce jsou některé hodnoty spotřeby označené oranžovou barvou, jelikož u těchto spotřebičů se jejich hodnota spotřeby určila z průměru použitého příkonu. Například u indukční varné desky byla průměrná spotřeba stanovena 1,6 kWh, ale její příkon se pohybuje od 1,2 kW (jedna plotýnka) do 7,2 kW (čtyři plotýnky).

³⁵ Zdroj: < http://cs.wikipedia.org/wiki/Energetick%C3%BD_%C5%A1t%C3%ADtek > [cit.2013-3-26]

Tab. 3.5.4.1. Použité el. spotřebiče v řešeném objektu a jejich denní spotřeba.

Spotřebič	Název	Energetická třída	Denní využití	Spotřeba	Jednotka	Denní spotřeba (kWh/den)
Lednice	Siemens KG49EAI4	A+++	1	0,48	kWh/den	0,480
Pračka	Gorenje W7543L	A+++	0,33	0,77	kWh/1.p.d.	0,254
Myčka	Bosch SMV48M10	A++	1	0,93	kWh/1.p.d.	0,930
Trouba	MORA VT503MX	A	0,33	0,87	kWh	0,287
Indukční deska	Elektrolux 6540	-	1,2	1,60	kWh	1,920
Mikrovlnná trouba	Bosch HMT75	-	0,25	0,60	kWh	0,150
Rychlovarná konvice	Rohyson R746	-	0,27	2,00	kWh	0,540
Televizor	Samsung 37ES6300	B	5	0,06	kWh	0,300
Notebook	HP ProBook 4330s	-	5	0,04	kWh	0,200
Vysavač	Elektrolux 7020	-	0,25	2,20	kWh	0,550
Klimatizace	Daitsu ASD 7U	-	1	0,69	kWh	0,690
Ruční nářadí v dílně (vrtačka, pila, atd.)		-	3	0,70	kWh	2,100
Sekačka			0,21	1,80	kWh	0,378
Σ						8,779

Ve výše uvedené tabulce je kromě jiného také vypsáno denní využití, to je všude mimo lednice, pračky a myčky uváděno v hodinách. U lednice je denní využití uvedeno 1, jelikož štítková hodnota spotřebiče měla spotřebu uvedenou v kWh/den. Spotřeba pračky a myčky je zase uváděná v kWh za 1 pracovní cyklus (prací, mycí). Myčka pojede každý den jednou, proto je denní využití 1. Pračka pojede v průměru každý třetí den, a tak bylo stanoveno denní využití na hodnotu 0,33. Ostatní spotřebiče už byly hodnoceny podle toho, jak dlouho denně jedou. Samozřejmě u vysavače je stanoveno denní využití 0,25, to neznamená, že pojede 0,25 hodin denně, ale že pojede přibližně hodinu každý čtvrtý den. Výpočet denní spotřeby byl proveden vynásobením spotřeby a denním využitím. Celková denní spotřeba všech základních el. spotřebičů činí 8,779 kWh za den. Aby byla zjištěna celková roční spotřeba všech el. spotřebičů, tak musíme denní spotřebu vynásobit počtem dní v roce. Výpočet vypadá takto:

$$Q_{el,s,r} = Q_{el,s,d} \cdot 365 = 8,779 \cdot 365 = 3204 \text{ kWh} \quad (44)$$

Kde:

$Q_{el,s,r}$ – je spotřeba elektrické energie pro el. spotřebiče za rok (kWh),

$Q_{el,s,d}$ – je spotřeba elektrické energie pro el. spotřebiče za den (kWh).

Kromě základních el. spotřebičů má také ještě daný objekt el. spotřebiče potřebné k správnému chodu. Zde se obvykle řadí různá čerpadla, el. kotle, atd. Tento řešený objekt bude vytápěn solárními kolektory + kotlem na tuhá paliva. Takže zde musíme připočítat pouze spotřebu el. energie dvou oběhových čerpadel, kde jedno je pro solární systém a druhé pro podlahové vytápění.

Jedná se přibližně o 104 kWh za rok a hodnota zjištěna součtem oběhového čerpadla solárního systému (40 kWh) a oběhového čerpadla podlahového vytápění (64 kWh). Hodnoty jsou orientační a byly vyčteny ze serveru [34].

Proto je potřeba k celkové roční spotřebě elektrické energie el. spotřebičů připočíst i spotřebu oběhových čerpadel. Celková spotřeba el. energie spotřebičemi pak vychází takto:

$$Q_{el.s cel.,r} = Q_{el.s,r} + Q_{čer,r} = 3204 + 104 = 3308 kWh \quad (45)$$

Kde:

$Q_{el.s,r}$ – je spotřeba elektrické energie pro el. spotřebiče za rok (kWh),

$Q_{čer,r}$ – je spotřeba elektrické energie pro oběhové čerpadla za rok (kWh),

$Q_{el.s cel.,r}$ – je celková spotřeba elektrické energie všech el. spotřebičů za rok (kWh).

3.5.5. Navrhovaná celková spotřeba elektrické energie

Celková spotřeba elektrické energie se skládá ze spotřeby el. energie osvětlovací soustavy objektu a el. spotřeby všech el. spotřebičů. A její hodnota je:

$$Q_{el.,r} = Q_{osv,r} + Q_{el.s cel.,r} = 446 + 3308 = 3754 kWh \quad (46)$$

Kde:

$Q_{osv,r}$ – je spotřeba elektrické energie pro osvětlení za rok (kWh),

$Q_{el.s cel.,r}$ – je celková spotřeba elektrické energie všech el. spotřebičů za rok (kWh),

$Q_{el.,r}$ – je celková spotřeba elektrické energie za rok (kWh).

Tato hodnota roční spotřeby elektrické energie je zjištěna výpočtem na základě dat doložených a konzultovaných s majitelem objektu a je orientační. Přesnější hodnota roční spotřeby by se dala zjistit na základě dlouhodobého měření, to však nebylo možné, jelikož je objekt v rozsáhlé rekonstrukci a v době řešení této problematiky nebyl obyvatelný. Z faktur za elektřinu v období před rekonstrukcí nelze vycházet, vzhledem k rozsahu rekonstrukce.

3.6. Energie spotřebovávaná řešeným objektem

V této podkapitole jsou shrnuty hodnoty výše uvedených podkapitol a v tabulce Tab. 3.6.1. je vyčísleno kolik řešený objekt spotřebuje energie na vytápění, TUV a elektrické spotřebiče. Tyto hodnoty byly zjištěny výpočty na základě konzultace s majitelem objektu a prohlídky řešeného objektu.

Tab. 3.6.1. Energie spotřebovávaná řešeným objektem za rok.

Spotřebovaná energie	Hodnota
pro vytápění	8855 kWh
pro TUV	8122 kWh
elektrická	3754 kWh

4. Návrh solárního systému u obytného domu pro přípravu TUV, přitápění a spotřebu elektřiny

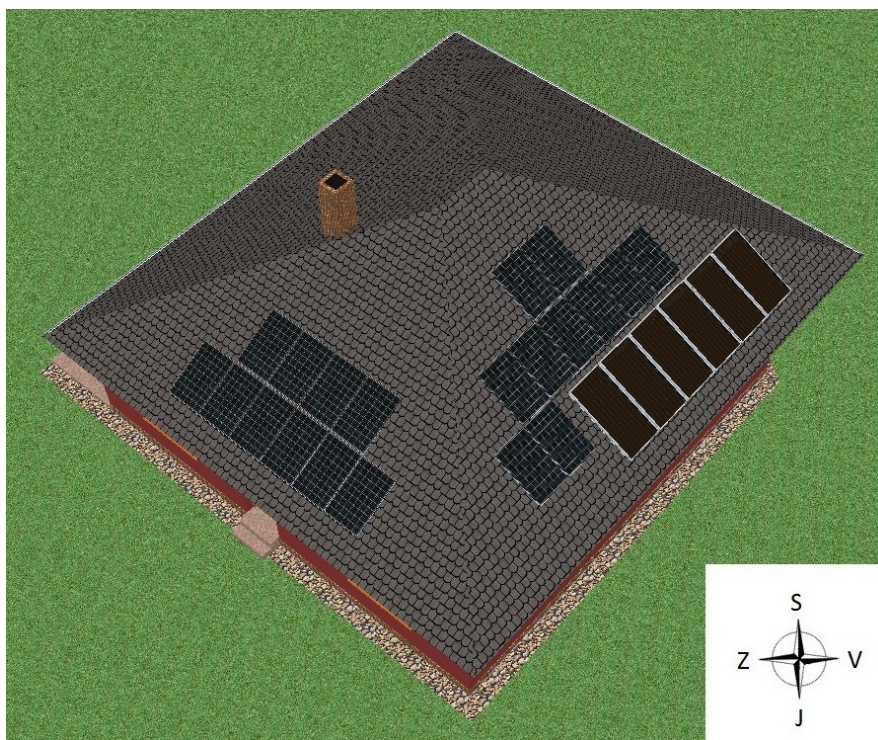
4.1. Úvaha o využití solárních kolektorů a fotovoltaických panelů v řešeném objektu

Daný objekt má jehlanovitou bytelnou střechu se sklonem 27°. Tato střecha je zobrazena na obrázku Obr. 4.1.1., kde je také vidět rozmístění panelů a kolektorů. Díky natočení stavby a tvaru střechy bylo možno využít dvě plochy (strany) střechy a to jihozápadní o velikosti 55,3 m² a jihovýchodní o velikosti 66,4 m².

Volba počtu a velikostí solárních kolektorů i fotovoltaických panelů proběhla po konzultaci s majitelem objektu a výpočtech v níže uvedených podkapitolách 4.2. a 4.3.

Z úvahy o vhodném využití plochy střechy vyplynulo, že nejprve bude navržen solární systém pro ohřev TUV a přitápění tak, aby pokryl 100 % potřeby v období od května do září. V ostatních měsících bude solární systém s kapalinovými kolektory pouze podporou a majitel objektu si bude ohřívat TUV a vytápět objekt krbovými kamny s výměníkem, případně do budoucna kotlem na tuhá paliva nebo plynovým kotlem.

Po navržení a umístění kapalinových kolektorů se zbylá použitelná plocha střechy využila na fotovoltaické panely tak, aby instalovaný výkon nepřesáhl 5 kW_p. Jelikož se jedná o systém připojení na síť. Pro FV systémy s instalovaným výkonem do 5 kW_p jsou příznivější výkupní ceny elektřiny.



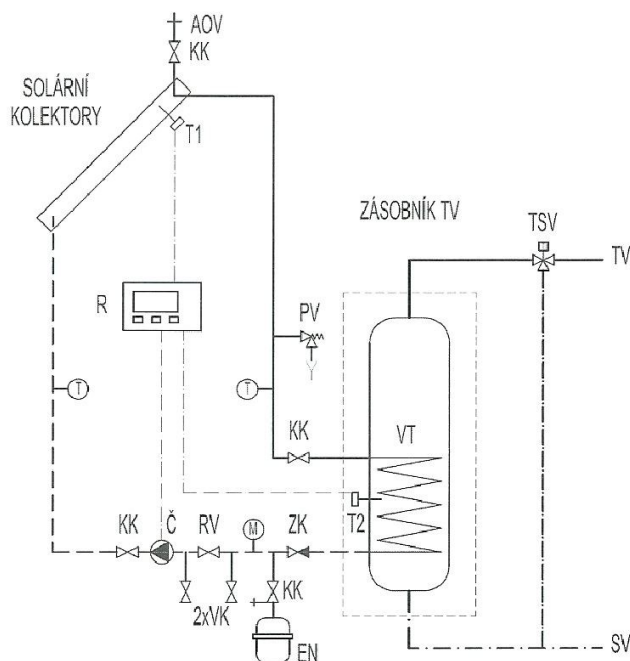
Obr. 4.1.1. Rozložení kolektorů a panelů na střeše řešeného objektu.³⁶

³⁶ Zdroj: Vytvořeno autorem pomocí programu SketchUp.

4.2. Návrh solárního systému pro přípravu TUV a přitápění

4.2.1. Prvky solární soustavy a jejich návrh

Solární systém pro TUV nebo pro TUV a přitápění se skládá z několika částí, proto projektování vhodného solárního systému není jen o navržení potřebné plochy kolektorů, ale je třeba dobře zvolit i ostatní součásti. Na obrázku Obr. 4.2.1.1. je zobrazeno schéma jednoduchého solárního systému pro ohřev TUV. V obrázku jsou vyznačeny jednotlivé části a ty jsou popsány v textu pod obrázkem. [5]



Obr. 4.2.1.1. Schéma solárního systému pro ohřev TUV.³⁷

Systém se tedy skládá ze solárního kolektoru, zásobníku tepla s výměníky tepla (VT), teplotnosné kapaliny, potrubí s tepelnou izolací, oběhového čerpadla (Č), zpětné klapky (ZK), pojistného ventilu (PV), expanzní nádoby (EN), odvzdušňovacího ventilu (AOV), regulátoru (R), uzavírací armatury (KK), vypouštěcí a napouštěcí armatury (VK), termostatického směšovacího ventilu (TSV), regulačního ventilu (RV), teploměru (T), monometrů (M) a průtokoměrů (P). [5]

Jestliže chceme využívat solární kolektory k ohřevu TUV i k přitápění, tak musíme systém rozšířit ještě o jeden zásobník nebo běžnějším řešením je použití jednoho centrálního zásobníku se dvěma výměníky. Ten je například zobrazen na obrázku Obr. 2.2.4.1.

Projektování částí solárního systému se dosti liší od projektování klasických tepelných soustav. Některé součásti systému jsou však totožné, až na teplotní a tlakovou odolnost. Většina prvků systému vychází z velikosti celkové plochy solárních kolektorů a zohledňuje i extrémní provozní stavy solárního systému. Jedním z nejběžnějších extrémních stavů je stagnace, což je klidový stav bez odběru tepla při příjmu slunečního záření. [5]

Pokud jsou vhodné podmínky pro projektování solární soustavy, tak se začíná stanovením plochy solárních kolektorů pro dané potřeby. Jak na to je popsáno v následující podkapitole 4.2.2., jelikož tato problematika zabírá větší rozsah. Dalšími dvěma základními věcmi, které jsou třeba

³⁷ Zdroj: MATUŠKA T., Solární tepelné soustavy 1., str. 103

vhodně naprojektovat je zásobník a expanzní nádoba. Tyto části jsou popsány níže v podkapitole 4.2.3. Ostatními věcmi, jako je např. potrubí, oběhové čerpadlo, atd., se tato diplomová práce nezabývá. Pokud tedy potřebujete provést podrobnější výpočet, tak je vhodné použít například tuto literaturu: [5]. V dnešní době se většinou stanoví potřebná plocha kolektorů a k ní se najde prodáváný solární set, kde již jsou jednotlivé části přesně dimenzované pro daný počet kolektorů a tedy pro danou plochu kolektorů. Tak je to provedeno i při řešení daného objektu.

4.2.2. Stanovení plochy kolektorů

Solární soustavy pro přípravu TUV a přitápění se navrhují na pokrytí celkové potřeby v okrajových měsících přechodných období, tedy na květen a září. U těchto systémů se střední teplota teplotnosné látky v kolektoru volí $t_{k,m} = 50$ až 60 °C a nejčastěji se používá centrální kombinovaný zásobník. Kdybychom systém navrhovali pouze pro přípravu TUV, tak by se střední teplota teplotnosné kapaliny volila $t_{k,m} = 40$ °C a návrh by se prováděl na měsíce duben a září. Teplota teplotnosné látky $t_{k,m}$ ovlivňuje účinnost kolektoru a tím i výpočet potřebné velikosti plochy solárních kolektorů. Její hodnoty jsou různé pro různě využívaný solární systém a jsou uvedeny v tabulce Tab. 4.2.2.1. U solárních soustav, které jsou dimenzované pro ohřev TUV a částečné vytápění je také nutné uvažovat o využití přebytků, ty nastanou v letním období. Proto a hlavně z ekonomického důvodu se takový to solární systém konstruuje na 15 až 35 % pokrytí potřebné energie pro TVU a vytápění za rok. [5]

Tab. 4.2.2.1. Průměrná teplota v solárních kolektorech.³⁸

Typ aplikace	$t_{k,m}$ (°C)
Ohřev bazénové vody (venkovní bazén)	30
Ohřev bazénové vody (vnitřní bazén)	35
Předehřev teplé vody, pokrytí < 35 %	35
Příprava teplé vody, 35 % < pokrytí < 70 %	40
Příprava teplé vody, pokrytí > 70 %	50
Příprava teplé vody a vytápění, pokrytí < 25%	50
Příprava teplé vody a vytápění, pokrytí > 25%	60

Plocha solárních kolektorů:

Návrh plochy solárních kolektorů spočívá v porovnání měsíční (nebo denní) potřeby tepla $Q_{p,c}$ a využitelných teoretických zisků solárních kolektorů $q_{k,u}$, které v řešeném měsíci kryjí potřebu tepla podle požadavků solárního pokrytí f . Navržená plocha je plocha otvoru, kterým vstupuje do kolektoru sluneční záření. Takové ploše se obecně říká plocha apertury a vypočte se podle vztahu:

$$A_k = \frac{f \cdot Q_{p,c}}{q_{k,u}} \quad (m^2) \quad (47)$$

Kde:

A_k – je plocha apertury solárních kolektorů (m^2),

f – je solární pokrytí potřeby tepla (-),

$q_{k,u}$ – je teoretický zisk solárních kolektorů (kWh/m^2),

$Q_{p,c}$ – je celková potřeba tepla v daném měsíci (kWh). [5]

³⁸ Zdroj: MATUŠKA T., Solární tepelné soustavy 1., str. 99

Aby bylo možné plochu vypočítat, tak nejprve musí být určena celková potřeba tepla pro daný měsíc $Q_{p,c}$ a dále teoretický zisk solárních kolektorů $q_{k,u}$. Pokrytí potřeby tepla f si volíme pro daný měsíc sami. Vztah pro celkovou potřebu tepla tedy vypadá takto:

$$Q_{p,c} = Q_h + Q_{TUV,m} \quad (kWh) \quad (48)$$

Kde:

$Q_{p,c}$ – je celková potřeba tepla v daném měsíci (kWh),

Q_h – je potřeba tepla pro vytápění v daném měsíci (kWh),

$Q_{TUV,m}$ – je měsíční potřeba tepla pro ohřev TUV (kWh). [5]

Vztah pro teoretický zisk solárního kolektoru vypadá takto:

$$q_{k,u} = 0,9 \cdot \eta_k \cdot H_{T,m\acute{e}s} \cdot (1 - p) \quad (kWh/m^2) \quad (49)$$

Kde:

$q_{k,u}$ – je teoretický zisk solárních kolektorů (kWh/m²),

η_k – je účinnost solárního kolektoru (-),

$H_{T,m\acute{e}s}$ – je měsíční dávka celkového slunečního ozáření (kWh/m²),

p – je hodnota srážky z tepelných zisků vlivem tepelných ztrát soustavy (-). [5]

Pro správný výpočet teoretického zisku solárního kolektoru podle vzorce (49) musí být dále vypočtena účinnost solárního kolektoru η_k podle vzorce (50), z tabulky Tab. 4.2.2.2. odečtena hodnota srážky z tepelných zisků p a vypočtena hodnota měsíční dávky celkového slunečního ozáření $H_{T,m\acute{e}s}$. Hodnota $H_{T,m\acute{e}s}$ se získá vynásobením počtu dní v měsíci a hodnotou denní dávky celkového slunečního ozáření $H_{T,den}$. Tuto hodnotu lze zjistit pro daný úhel sklonu plochy a azimutový úhel v Příloze č.1

Tab. 4.2.2.2. Srážka vlivem tepelných ztrát.³⁹

Typ solární soustavy	p
Bazén, ohřev bazénové vody	0,01
Příprava teplé vody, do 10 m ²	0,20
Příprava teplé vody, od 10 do 50 m ²	0,1
Příprava teplé vody, od 50 do 200 m ²	0,05
Příprava teplé vody, nad 200 m ²	0,03
Příprava teplé vody a vytápění, do 10 m ²	0,30
Příprava teplé vody a vytápění, od 10 do 50 m ²	0,20
Příprava teplé vody a vytápění, od 50 do 200 m ²	0,10
Příprava teplé vody a vytápění, nad 200 m ²	0,06

Dalším krokem při výpočtu, resp. počátečním krokem je výpočet účinnosti solárního kolektoru η_k . Tento výpočet je závislý na použitém solárním kolektoru, proto před výpočtem plochy kolektorů už musí být znám výrobce a typ kolektorů. Vztah vypadá takto:

$$\eta_k = \eta_0 - a_1 \cdot \left(\frac{t_{k,m} - t_{e,s}}{G_{T,m}} \right) - a_2 \cdot \frac{(t_{k,m} - t_{e,s})^2}{G_{T,m}} \quad (-) \quad (50)$$

³⁹ Zdroj: MATUŠKA T., Solární tepelné soustavy 1., str. 100

Kde:

η_k – je účinnost solárního kolektoru (-),
 η_0 – je účinnost solárního kolektoru při nulovém teplotním spádu (-),
 a_1 – je lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru ($W/(m^2K)$),
 a_2 – je kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru ($W/(m^2K^2)$),
 $t_{k,m}$ – je průměrná teplota teplotnosné kapaliny v průběhu dne ($^{\circ}C$),
 $t_{e,s}$ – je průměrná venkovní teplota v době slunečního svitu ($^{\circ}C$),
 $G_{T,m}$ – je střední sluneční ozáření (W/m^2). [5]

Potřebné hodnoty η_0 , a_1 , a_2 do výše uvedeného vztahu jsou pro každý kolektor jiné a lze je tedy u výrobce kolektoru, s kterým počítáme. Střední hodnota ozáření $G_{T,m}$ je různá pro různé naklonění kolektorů a pro různé azimutové uhly v daných měsících. Tuto hodnotu lze vyčíst v tabulce uvedené v Příloze č.2. Průměrnou teplotu teplotnosné kapaliny $t_{k,m}$ pro dané řešení systému je možné doplnit z tabulky Tab. 4.2.2.1. a průměrnou venkovní teplotu v době slunečního $t_{e,s}$ svitu nalezneme v tabulce Tab. 4.2.2.3.

Tab. 4.2.2.3. Střední teplota v době slunečního svitu.⁴⁰

Měsíc	$t_{e,s} (^{\circ}C)$
Leden	2,2
Únor	3,4
Březen	6,5
Duben	12,1
Květen	16,6
Červen	20,6
Červenec	22,5
Srpen	22,6
Září	19,4
Říjen	13,8
Listopad	7,3
prosinec	3,5

4.2.3. Stanovení velikostí zásobníku a expanzní nádoby

Velikost zásobníku (akumulační nádoby):

U rodinného domu se uvažuje velikost zásobníku minimálně 1,5 až 2 násobek denní potřeby teplé vody. Vztah je tedy prostý a vypadá takto:

$$V_{aku} = (1,5 \text{ až } 2) \cdot V_{TUV,den} \quad (l) \quad (51)$$

Kde:

V_{aku} – je objem zásobníku (l),
 $V_{TUV,den}$ – je denní spotřeba TUV (l). [6]

⁴⁰ MATUŠKA T., Zjednodušený výpočtový postup energetického hodnocení solárních soustav., str. 12

Velikost expanzní nádoby:

U solární soustavy musí být expanzní nádoba dimenzovaná na zajištění minimálního objemu teplotnosné látky ve studeném stavu V_s , na změnu objemu teplotnosné látky vlivem teploty a na vytlačení celého objemu teplotnosné kapaliny z kolektoru při vývinu pár. Objem teplotnosné látky ve studeném stavu V_s se uvažuje přibližně 1 až 10 % z celkového objemu teplotnosné soustavy V_{soust} , avšak minimálně 2 litry. Výpočet objemu expanzní nádoby se provádí pomocí tohoto vztahu:

$$V_{EN,min} = V_s + V_{soust} \cdot \beta + V_k \quad (l) \quad (52)$$

Kde:

$V_{EN,min}$ – je minimální objem expanzní nádoby (l),

V_s – je objem teplotnosné látky ve studeném stavu (l),

V_{soust} – je objem soustavy (l),

β – je součinitel objemové roztažnosti teplotnosné látky určený pro daný teplotní rozsah (např. propylen glykol 140K je $\beta = 0,1$),

V_k – je objem solárních kolektorů (l). [6]

4.2.4. Výpočet plochy kolektorů pro TUV a přitápění v řešeném objektu

Než se začne se samotným výpočtem plochy kolektorů, tak musí být známo, kolik daný objekt spotřebuje energie na přípravu TUV a vytápění za rok, případně v konkrétním měsíci. Tomuto odpovídá tabulka Tab. 4.2.4.1. kde jsou uvedeny hodnoty energie potřebné na vytápění $Q_{h,m}$, energie potřebné na přípravu TUV $Q_{TUV,m}$ a celkové energie pro jednotlivé měsíce v roce $Q_{p,c}$.

Tab. 4.2.4.1. Spotřeba energie v jednotlivých měsících.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Rok
$Q_{TUV,m}$ (kWh)	797	720	797	771	589	495	512	512	570	797	771	797	8125
Q_h (kWh)	1869	1381	1038	431	101	48	29	19	145	559	1317	1916	8853
$Q_{p,c}$ (kWh)	2666	2101	1835	1202	690	543	541	531	715	1356	2088	2713	16978

Hodnoty Q_h v této tabulce (Tab. 4.2.4.1.) jsou převzaty z podkapitoly 3.3.5. z tabulky Tab. 3.3.5.3. Hodnoty $Q_{TUV,m}$ jsou vypočteny z denní a roční spotřeby tepla pro TUV, která se nachází v podkapitole 3.4.4. Tato roční hodnota byla rozpočtena na měsíce pomocí logického odvození, kdy je známo počet dnu v daném měsíci a jestli jsou dny otopné nebo ne. Zde je pro příklad uveden výpočet $Q_{TUV,m}$ pro červenec:

$$Q_{TUV,m} = 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot PDVM = 0,8 \cdot 25,7 \frac{55 - 15}{55 - 5} \cdot 31 = 16,5 \cdot 31 = 512 \text{ kWh} \quad (53)$$

Kde:

$Q_{TUV,d}$ – je denní potřeba tepla pro ohřev TUV (kWh),

$PDVM$ – je počet dní v měsíci (dny),

t_{svl} – je teplota studené vody v létě, (°C),

t_{svz} – je teplota studené vody v zimě, (°C),

t_2 – je teplota ohřáté vody (°C).

0,8 – je součinitel vyjadřující snížení spotřeby teplé užitkové vody v letním období oproti období zimnímu.

Celková energie pro jednotlivé měsíce $Q_{p,c}$ je pouhým součtem energie potřebné na vytápění a energie potřebné pro přípravu TVU, jak je uvedeno v podkapitole 4.2.2. vztah (48).

Dalším krokem, který musí předcházet výpočtu plochy solárních kolektorů je stanovení pokrytí solární soustavy. V praxi se solární kolektory navrhuji tak, aby byly pokryty energetické požadavky v květnu až září (viz. podkapitola 4.2.2.). Majitel řešeného objektu si však přál, aby i v dubnu solární systém zásoboval objekt minimálně 40 % energie a celkové pokrytí energie aby bylo alespoň 20 %.

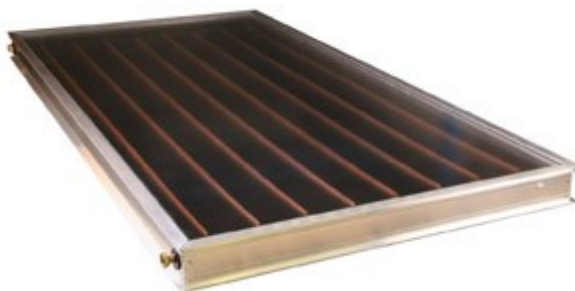
Poslední úkolem před výpočtem plochy kolektorů je zvolit si výrobce solárních kolektorů, tedy hlavně přesný typ kolektoru, jelikož při výpočtu plochy už bude zapotřebí použít některé hodnoty udávané výrobcem.

Pro níže uvedený výpočet solární plochy byl použit solární kolektor firmy T.W.I. spol. s.r.o., a to konkrétně plochý solární kolektor SunWing T3. V tabulce Tab. 4.2.4.2. jsou uvedeny jeho parametry a na obrázku Obr. 4.2.4.1. je vyobrazen.

Tab. 4.2.4.2. Technické parametry kolektoru SunWing T3.⁴¹

Vnější rozměr	2090 x 1081 x 105 mm
Celková hmotnost	45 kg
Izolace dna	Minerální vlna tl. = 50 mm
Izolace boční	Minerální vlna tl. = 50 mm
Přípoje	G ¾ + plochá těsnění
Absorpce	95,3 %
Emisivita	4,7 %
Kompenzátor	1 ks (integrováný)
Zkušební tlak	10 barů
Provozní tlak	1 – 4 bary
Obsah	1 l
Těsnění	EPDM a sil. Směsi
Lineární součinitel tepelné ztráty a_1	3,614 W/(m²K)
Kvadratický součinitel tepelné ztráty a_2	0,008 W/(m²K²)
Účinnost solárního kolektoru při nulovém teplotním spádu η_0	0,774
Plocha apertury $A_{k\ T3}$	2,018 m²

⁴¹ Zdroj: <<http://en.calameo.com/read/00080399014644d90717f>> [cit.2013-4-5]



Obr. 4.2.4.1. Kolektor SunWing T3.⁴²

V tabulce Tab. 4.2.4.3. jsou hodnoty potřebné k výpočtům plochy, vypočtené dílčí hodnoty rovněž potřebné pro výpočet plochy a již výsledné výpočty velikostí ploch (apertury), které by vyhovovaly k pokrytí 40 % energie pro přípravu TUV a vytápění v každém měsíci. 40 % bylo zvoleno na základě požadavků majitele a z tabulky budou nejdůležitějšími údaji velikosti ploch měsíců duben a září. Podle těchto údajů bude v podkapitole 4.2.5. volen počet kolektorů. Pod tabulkou je proveden postupně vzorový výpočet pro jeden měsíc (duben).

Tab. 4.2.4.3. Výpočet plochy kolektorů (apertury).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Počet dní	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
$H_{T,den}$ (kWh/m²)	0,90	1,62	2,81	3,75	4,80	5,32	5,19	4,54	3,56	2,03	1,02	0,90
$H_{T,měs}$ (kWh/m²)	27,9	45,36	87,11	112,5	148,8	159,6	160,89	140,74	106,8	62,93	30,6	27,9
$G_{T,m}$ (W/m²)	298	373	453	491	514	520	512	493	456	389	313	298
η_k (-)	0,133	0,276	0,394	0,472	0,522	0,556	0,568	0,561	0,515	0,411	0,234	0,088
$q_{k,u}$ (kWh/m²)	3,00	10,14	27,77	42,98	62,89	71,93	74,03	63,95	44,56	20,94	5,81	1,45
A_k (m²)	354,8	82,9	26,4	11,2	4,4	3,0	2,9	3,3	6,4	25,9	143,8	748,1

Pro správný výpočet bylo zapotřebí nejprve vhodně zvolit střední sluneční ozáření $G_{T,m}$ a denní dávky celkového slunečního ozáření $H_{T,den}$. Ty byly zvoleny z tabulek v Příloze č.1 a č.2 pro daný azimutový úhel a úhel sklonu plochy. Azimutový úhel plochy na které budou panely je $\pm 45^\circ$ a úhel sklonu je 30° . Měsíční dávka celkového slunečního ozáření $H_{T,měs}$ se dosáhla vynásobením $H_{T,den}$ a počtem dní.

Postup výpočtu plochy (apertury) kolektoru tedy probíhal podle podkapitoly 4.2.2. tak, že se nejdříve vypočítala skutečná účinnost solárního kolektoru η_k pro řešený měsíc (duben) podle vzorce (50).:

$$\eta_k = \eta_0 - a_1 \cdot \left(\frac{t_{k,m} - t_{e,s}}{G_{T,m}} \right) - a_2 \cdot \frac{(t_{k,m} - t_{e,s})^2}{G_{T,m}}$$

$$\eta_k = 0,774 - 3,614 \cdot \left(\frac{50 - 12,1}{491} \right) - 0,008 \cdot \frac{(50 - 12,1)^2}{491} = 0,472$$

(54)

⁴² Zdroj: < <http://www.twi.cz/solar/katalog-kolektory.php> > [cit.2013-4-5]

Do tohoto výpočtu se hodnoty η_0 , a_1 a a_2 volili podle uvažovaného kolektoru z tabulky Tab. 4.2.4.2. Hodnota střední teploty v době slunečního svitu $t_{e,s}$ byla zvolena z tabulky Tab. 4.2.2.3., hodnota středního slunečního ozáření $G_{T,m}$ byla zvolena z tabulky Tab. 4.2.4.3. a hodnota průměrné teploty v solárních kolektorech $t_{k,m}$ byla zvolena z tabulky Tab. 4.2.2.1. Hodnota $t_{k,m}$ se zvolila 50 °C, jelikož je předpoklad, že výsledné pokrytí bude do 25 %.

Dále se postupovalo výpočtem teoretického zisku solárního kolektoru $q_{k,u}$ v daném měsíci (dubnu) podle vztahu (49):

$$q_{k,u} = 0,9 \cdot \eta_k \cdot H_{T,m\acute{e}s} \cdot (1 - p) = 0,9 \cdot 0,472 \cdot 112,5 \cdot (1 - 0,1) = 42,98 \text{ kWh/m}^2 \quad (55)$$

V tomto vzorci se využila hodnota vypočtená v předešlém výpočtu (54) a hodnoty z tabulek Tab. 4.2.2.2. a Tab. 4.2.4.3. Pomocí této hodno již bylo možné vypočíst potřebnou plochu (apertury) kolektoru pomocí vztahu (47) z podkapitoly 4.2.2.:

$$A_k = \frac{f \cdot Q_{p,c}}{q_{k,u}} = \frac{0,4 \cdot 1202}{42,98} = 11,2 \text{ m}^2 \quad (56)$$

U výpočtu plochy byla dosazena hodnota pokrytí $f = 0,4$, jelikož si majitel objektu přál 40 % pokrytí v měsíci dubnu. Aby této podmínky bylo dosaženo, tak je za potřebí minimálně plochu apertury kolektorů 11,2 m². Hodnoty $Q_{p,c}$ jsou uvedeny pro jednotlivé měsíce v tabulce Tab. 4.2.4.1.

V tabulce Tab. 4.2.4.3. je také vidět jak musí být minimálně velká plocha apertury kolektorů v jednotlivých měsících, aby bylo vždy dosaženo pokrytí 40 % energie ze solárních kolektorů pro přípravu TUV a vytápění.

4.2.5. Stanovení počtu kolektorů a jednotlivých částí systému

Počet kolektorů je stanoven tak, že známe velikost plochy jednoho kolektoru, pro který již byl proveden výpočet potřebné kolektorové plochy. Tato hodnota je uvedena v tabulce Tab. 4.2.4.2. pro kolektor SunWing T3. Hodnota plochy apertury uvažovaného kolektoru je 2,018 m² a z předchozí kapitoly 4.2.4. je známo, že minimální potřebná plocha apertury kolektorů je 11,2 m², z čehož vyplývá, že musíme použít minimálně 6 ks kolektorů. Na to se přišlo pomocí tohoto výpočtu:

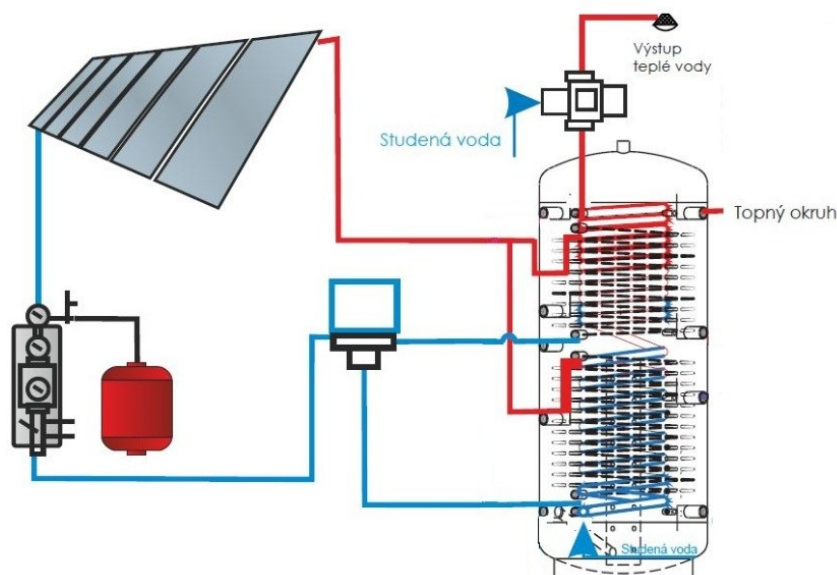
$$\text{Počet kolektorů} = \frac{A_k}{A_{k,T3}} = \frac{11,2}{2,018} = 5,6 = 6 \text{ ks} \quad (57)$$

Firma T.W.I. s.r.o. prodává přímo solární set se 6 ks kolektorů SunWing T3 pod označením stratoSOL DUO 6.10, který obsahuje části uvedené v tabulce Tab. 4.2.5.1. Tento solární set je vhodný pro 4 – 7 osob a je vhodný pro použití v kombinaci s krbem i elektro nebo plynovým kotlem. Výkon kolektorového pole výrobce uvádí až 9378 W.

Tab. 4.2.5.1. Parametry solárního setu stratoSOL DUO 6.10.⁴³

Část solárního setu	ks	Část solárního setu	ks
Solární kolektor SunWing T3	6	Tří okruhová procesorová regulace	1
MS CLICK V3 – uchycení kolektorů	2	Odvzdušňovací nádoba L – G3/4	1
Hygenio 1000 RR - zásobník	1	Trojcestný motorický ventil, 230V	1
Izolace Hygenio HG 1000	1	Jímka 3/4“ pro solární snímač	1
Čerpadlová stanice 15/6 Willo	1	Expanzní nádrž 60l	1
Držák expanzní nádrže + přípoj	1	Teplonosná kapalina 25l	1

⁴³ Zdroj: <<http://en.calameo.com/read/00080399014644d90717f>> [cit.2013-4-8]



Obr. 4.2.5.1. Solární systém stratoSOL DUO 6.10.⁴⁴

Na výše uvedeném obrázku Obr. 4.2.5.1. lze vidět zjednodušené schéma zapojení samotného solárního systému. Jelikož prodáváný systém má již podle kolektorů dimenzovaný zásobník, expanzní nádobu a další části systému, tak není potřebné provádět výpočty podle podkapitoly 4.2.3., ani další.

Zásobník má 2x výměníky Solar + výměník TUV z kvalitní nerez oceli a jeho objem je 1000 litrů. Bližší informace o všech jednotlivých částech systému i o solárním setu lze najít v katalogu výrobce, jenž je uveden v poznámce pod čarou na této stránce.

4.2.6. Energetické hodnocení solárního systému pro přitápění a ohřev TUV

Aby bylo možno energeticky zhodnotit přínos solárního systému, tak musí být nejprve vypočten teoretický energetický zisk v jednotlivých měsících $Q_{k,u}$. Tyto hodnoty a hodnoty využitelných tepelných zisků solární soustavy jsou uvedeny v tabulce Tab. 4.2.6.1.

Výpočet teoretického využití zisků ze solárních kolektorů $Q_{k,u}$ se vypočte z hodnot celkové velikosti plochy apertury kolektorů A_k , měsíční dávky celkového slunečního ozáření $H_{T,měs}$ a střední měsíční účinnosti kolektorů η_k podle vztahu:

$$Q_{k,u} = 0,9 \cdot \eta_k \cdot H_{T,měs} \cdot A_k \cdot (1 - p) \quad (kWh) \quad (58)$$

Kde:

$Q_{k,u}$ – je teoretický měsíční využitelný zisk ze solárního kolektoru (kWh),

η_k – je účinnost solárního kolektoru (-),

$H_{T,měs}$ – je měsíční dávka celkového slunečního ozáření (kWh/m²),

A_k – je plocha apertury solárních kolektorů (m²),

p – je hodnota srážky z tepelných zisků vlivem tepelných ztrát soustavy (-). [5]

Využitelné tepelné zisky solární soustavy se určí pomocí tohoto vztahu:

$$Q_{ss,u} = \min(Q_{k,u}; Q_{p,c}) \quad (kWh) \quad (59)$$

Kde:

$Q_{ss,u}$ – je využitelný tepelný zisk solární soustavy (kWh),

⁴⁴ Zdroj: <<http://en.calameo.com/read/00080399014644d90717f>> [cit.2013-4-8]

$Q_{k,u}$ – je teoretický měsíční využitelný zisk ze solárního kolektoru (kWh),
 $Q_{p,c}$ – je celková potřeba tepla v daném měsíci (kWh). [5]

Tab. 4.2.6.1. Energetické hodnocení solárního systému.

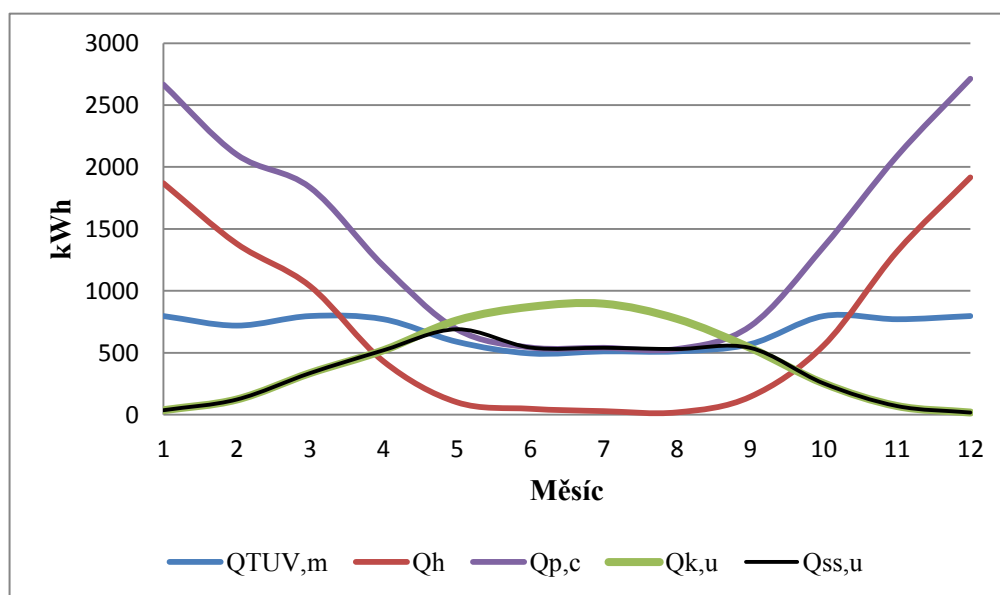
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Rok
$Q_{p,c}$ (kWh)	2666	2101	1835	1202	690	543	541	531	715	1356	2088	2713	16981
$Q_{k,u}$ (kWh)	36	123	336	520	761	871	896	774	539	253	70	18	5197
$Q_{ss,u}$ (kWh)	36	123	336	520	690	543	541	531	540	253	70	18	4201

Vzorově je zde předveden výpočet teoretického měsíčního zisku solární soustavy v dubnu:

$$Q_{k,u} = 0,9 \cdot \eta_k \cdot H_{T,měs} \cdot A_k \cdot (1 - p)$$

$$Q_{k,u} = 0,9 \cdot 0,47 \cdot 112,5 \cdot (6 \cdot 2,018) \cdot (1 - 0,1) = 520 \text{ kWh} \quad (60)$$

Hodnoty η_k a $H_{T,měs}$ byly použity z tabulky Tab. 4.2.4.3. a hodnota p z tabulky Tab. 4.2.2.2. Z výše uvedených hodnot byl sestaven Graf 4.2.6.1., který přesně zobrazuje energii potřebnou pro vytápění Q_h a přípravu TUV $Q_{TUV,m}$ v obytném domě, celkovou potřebnou energii $Q_{p,c}$, energii využitelnou pomocí solárního systému $Q_{k,u}$ a využitelné solární zisky $Q_{ss,u}$.



Graf 4.2.6.1. Balance energií.

Pokrytí potřeby tepla pro vytápění a ohřev TUV se vypočte pomocí ročních hodnot využitelných solárních zisků a celkové potřebné energie takto:

$$f = 100 \cdot \frac{Q_{ss,u(Rok)}}{Q_{p,c(Rok)}} = 100 \cdot \frac{4201}{16981} = 24,7 \% \quad (61)$$

Kde:

f – je solární pokrytí potřeby tepla (%),

$Q_{ss,u(Rok)}$ – je využitelný tepelný zisk solární soustavy za rok (kWh),

$Q_{p,c(Rok)}$ – je celková potřeba tepla za rok (kWh). [5]

Toto hodnocení lze také provést pomocí tohoto odkazu [35]

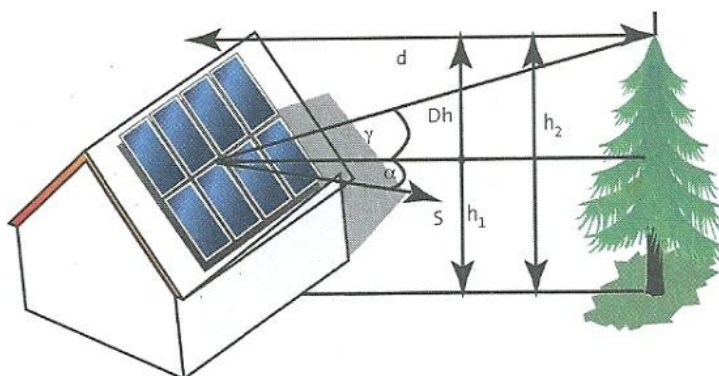
4.3. Návrh fotovoltaického systému v daném objektu

4.3.1. Světelné podmínky pro řešený objekt

Z Obrázku Obr. 2.2.1.1. v podkapitole 2.2.1. je patrné, že roční průměrná suma slunečního záření pro oblast Ostravu a okolí je 1026 až 1054 kWh/m². Využití dopadu slunečního záření může být ovlivněno vrháním stínů okolních překážek na řešený objekt.

Vliv a řešení Stínů

Pro dobrý energetický výnos stanoviště je důležité kromě správné orientace FV panelů také co nejmenší zastínění. Je třeba myslet na to, že stíny nejsou statické, ale pohybující se v průběhu dne i roku. Solární zařízení může být zastíněno sousedními budovami, stromy i například vedením. Nejkritičtější působení stínů je od tělesa v bezprostřední blízkosti, jako je například komín, anténa nebo i části střechy. K určení ztrát zastíněním se vždy provádí analýza. Musí být zaznamenána linie horizontu v úhlu 180° od východu po západ vedená přes jih, která je ve vztahu k určitému bodu zařízení (většinou střed solárního generátoru). Určení linie horizontu lze provést podle diagramu dráhy slunce a situačního plánu. Určení úhlu azimutu a výšky je možno podle následujícího obrázku Obr. 4.3.1.1. a níže uvedeného vztahu. [4]



Obr. 4.3.1.1. Určení výšky a úhlu azimutu.⁴⁵

Z tohoto obrázku vyplývá vztah pro výpočet úhlu výšky γ takto:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{h_2 - h_1}{d} \rightarrow \gamma = \arctg \frac{\Delta h}{d} \quad (62)$$

Kde:

γ – je úhel výšky,

h_1 – je výška středu FV zařízení (m),

h_2 – je výška stínícího objektu (m),

d – je vzdálenost mezi FV zařízením a stínícím objektem (m). [4]

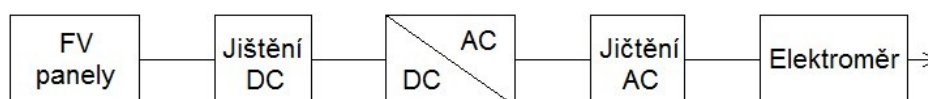
V případě řešeného objektu není třeba dopad stínů vůbec řešit, jelikož z jihozápadní ani z jihovýchodní strany není do vzdálenosti cca 500 m nic než pole. Také komín s anténou se nachází na severozápadní části střechy, odkud nemůže nikdy dopadat stín na FV panely.

⁴⁵ Zdroj: HASELHUHN R., Fotovoltaika, Budovy jako zdroj proudu, str. 43

4.3.2. Prvky fotovoltaického systému

Do řešeného objektu je navrhován fotovoltaický systém, který bude připojen na síť a díky tomu může majitel také vydělávat na případných přebytecích elektrické energie. Podrobnosti o takovém systému jsou uvedeny v podkapitole 2.3.2. Použitý fotovoltaický systém je blokově znázorněn na obrázku Obr. 4.3.2.1. a skládá se z těchto hlavních částí:

- fotovoltaických panelů,
- jisticích prvků na straně DC,
- Střídače,
- Jisticích prvků na straně AC,
- elektroměru.



Obr. 4.3.2.1. Blokové schéma zapojení FV systému.⁴⁶

Pro daný fotovoltaický (FV) systém jsou použity fotovoltaické panely od firmy Kyocera Solar, která má už více jak 35 letou zkušenost s výrobou FV panelů. Instalovaný typ panelů je KD240GH-4YB s maximálním výkonem 240 W_p. Tento panel je vytvořen z polykrystalických článků a výrobce dává 10 let záruku na 90 % minimálně specifikovaného výkonu P a 20 let záruku na 80 % minimálně specifikovaného výkonu P . Veškeré důležité parametry jsou uvedeny v tabulce Tab.4.3.2.1.

Tab. 4.3.2.1. Parametry FV panelu KD240GH-4YB.⁴⁷

Jmenovitý výkon P		240 W _p
Účinnost panelu		14,5 %
Tolerance výkonu		+5 % / -3 %
Maximální napětí systému		1000 V
Napětí při jmenovitém výkonu U_{MPP}		29,8 V
Proud při jmenovitém výkonu I_{MPP}		8,06 A
Napětí naprázdno U_{OC}		36,9 V
Zkratový proud I_{SC}		8,59 A
Teplotní koeficient napětí naprázdno	$k_u = -0,13284 \text{ V.K}^{-1}$	- 0,36 %/K
Teplotní koeficient zkratového proudu	$k_i = 0,00515 \text{ A.K}^{-1}$	0,06 %/K
Teplotní koeficient maximálního výkonu		- 0,46 %/K
Maximální jištění větve		15 A
Délka		1662 mm
Šířka		990 mm
Výška (vč. Připojovací krabičky)		46 mm
Hmotnost		21 kg
Typ připojení		PV-03 (SMK)
Krytí		IP 65
Počet polykrystalických článků v panelu		60 ks

⁴⁶ Zdroj: Vytvořeno autorem pomocí programu Malování.

⁴⁷ Zdroj: <<http://www.kyocerasolar.de/index/products/download/Czech.html>> [cit.2013-4-10]

Fotovoltaický systém bude tvořen z 20 ks FV panelů KD240GH-4YB s maximálním výkonem 4800 W_p. Proto bylo zvoleno použití střídače firmy Fronius, a to konkrétně Fronius IG 40, kde budou zapojeny dvě větve, každá po 10 ks panelů (jihovýchodní a jihozápadní). V podkapitole 4.3.4. je pak popsáno, jak došlo k určení daného střídače. V níže uvedené tabulce Tab. 4.3.2.2. jsou parametry navrženého střídače.

Tab. 4.3.2.2. Parametry střídače Fronius IG 40.⁴⁸

Typ	Fronius IG 40
VSTUPNÍ ÚDAJE	
Maximální výkon DC	4410 W
Maximální vstupní proud $I_{DC\ max}$	29,4 A
Maximální vstupní napětí $U_{DC\ max}$	500 V
Rozsah napětí MPP $U_{MPPmin} - U_{MPPmax}$	150 – 400 V
VÝSTUPNÍ ÚDAJE	
Maximální výstupní výkon	4100 W
Síťové připojení	1-NPE 230V
Frekvence	50 Hz / 60 Hz
Činitel zkreslení	< 3 %
Účinník $\cos\varphi_{AC,r}$	1
OSTATNÍ ÚDAJE	
Výška x šířka x hloubka	610 x 344 x 220mm
Hmotnost	16 kg
Krytí	IP 21
Spotřeba v noci	< 1 W
Rozsah okolní teploty	-20 - +50 °C
Maximální účinnost	94,3 %
Účinnost Euro η_{EU}	93,2 %
Účinnost přizpůsobení MPP	> 99,9 %

4.3.3. Stanovení počtu a rozmístění FV panelů

FV panely budou rozmístěny na dvě části střechy a to na část jihozápadní, která má velikost plochy 55,3 m², a část jihovýchodní, která má velikost plochy 66,4 m². Obě tyto části střechy mají sklon 27 ° a nejsou ničím stíněny. Díky tomu a dobrému azimutovému úhlu jsou vhodné na umístění FV panelů. Na jihovýchodní části střechy bude 6 ks solárních kolektorů a 10 ks FV panelů. Na jihozápadní části střechy bude také 10 ks FV panelů. Počet navržených panelů na jednotlivé části střechy vychází z velikosti daných ploch, přípustného zatížení střechy a žádané instalaci do 5 kW_p. Na obrázku Obr. 4.3.3.1. je vidět plánované uložení FV panelů na jihozápadní část střechy, a na Obr. 4.3.3.2. je vidět plánované uložení FV panelů na jihovýchodní část střechy.

⁴⁸ Zdroj: < [http://shop.solarpartner.cz/pdf/Datovy_list_Fronius_IG15_60\(4\).pdf](http://shop.solarpartner.cz/pdf/Datovy_list_Fronius_IG15_60(4).pdf) > [cit.2013-4-11]



Obr. 4.3.3.1. Pohled na jihozápadní část střechy.⁴⁹



Obr. 4.3.3.2. Pohled na jihovýchodní část střechy.⁴⁹

4.3.4. Výpočet parametrů FV generátoru a určení střídače

FV generátorem jsou vlastně označeny solární panely, které jsou rozděleny do dvou větví (řetězců) zapojených sériově a obě tyto větve jsou přivedeny do střídače. Jedná větev je jihozápadní, ta má 10 ks FV panelů a druhá větev jihovýchodní, která má také 10 ks FV. Obě větve vedou do střídače Fronius IG 40. Toto rozdělení je nejvyváženější, protože každá větev (řetězec) má stejný počet FV panelů. Parametry důležité pro rozhodnutí o použití střídače k uvedeným větvím jsou řešeny podle uvedených vztahů:

$$U_{GENmax} = n \cdot U_{0C} \quad (V) \quad (63)$$

$$I_{GENmax} = p \cdot I_{SC} \quad (A) \quad (64)$$

Kde:

U_{GENmax} – je napětí FV generátoru (V),

I_{GENmax} – je proud dodávaný FV generátorem (A),

⁴⁹ Zdroj: Vytvořeno autorem pomocí programu SketchUp.

U_{0C} – je napětí naprázdno FV panelu (V),
 I_{SC} – je zkratový proud FV panelu (A),
 n – je počet FV panelů ve větvi (-),
 p – je počet větví (-).

Dalšími důležitými výpočty jsou napětí MPP (bod maximálního výkonu) větve při 70 °C, při 25 °C a napětí naprázdno větve při -10 °C. To se vypočte pomocí těchto vztahů:

$$U_{MPPv25^{\circ}C} = U_{MPP} \cdot n \quad (V) \quad (65)$$

$$U_{MPPv70^{\circ}C} = (U_{MPP} + (45 \cdot k_u)) \cdot n \quad (V) \quad (66)$$

$$U_{0Cv-10^{\circ}C} = (U_{0C} + (-35 \cdot k_u)) \cdot n \quad (V) \quad (67)$$

Kde:

$U_{MPPv25^{\circ}C}$ – je napětí MPP při 25 °C (V),
 $U_{MPPv70^{\circ}C}$ – je napětí MPP při 70 °C (V),
 $U_{0Cv-10^{\circ}C}$ – je napětí naprázdno při -10 °C (V),
 U_{MPP} – je napětí FV panelu při jmenovitém výkonu (V),
 U_{0C} – je napětí naprázdno FV panelu (V),
 k_u – je teplotní koeficient napětí naprázdno FV panelu (V.K⁻¹),
 n – je počet FV panelů ve větvi (-).

Pomocí těchto výpočtů (64 – 67) lze určit, zda je navrhované rozložení FV panelů do větví vhodné pro navrhovaný střídač. Toto lze zjistit i bez počítání díky softwaru Fronius Solar configurator, který výrobce volně poskytuje a který také využívá níže uvedené vztahy.

Výpočet pro zjištění, zda je střídač Fronius IG 40 vhodný navrhované FV panely:

$$\begin{aligned}
 U_{GENmax} &= n \cdot U_{0C} = 10 \cdot 36,9 = 369 \text{ V} && \text{musí být} < 500 \text{ V dle Tab. 4.3.2.2. – SPLŇUJE} \\
 I_{GENmax} &= p \cdot I_{SC} = 2 \cdot 8,59 = 17,2 \text{ A} && \text{musí být} < 29,4 \text{ A dle Tab. 4.3.2.2. – SPLŇUJE} \\
 U_{MPPv25^{\circ}C} &= U_{MPP} \cdot n = 29,8 \cdot 10 = 298 \text{ V} && \text{musí být} < 400 \text{ V dle Tab. 4.3.2.2. – SPLŇUJE} \\
 U_{MPPv70^{\circ}C} &= (29,8 + (45 \cdot (-0,13284))) \cdot 10 = 238,2 \text{ V} && \text{musí být} > 150 \text{ V dle Tab. 4.3.2.2. – SPLŇUJE} \\
 U_{0Cv-10^{\circ}C} &= (36,9 + (-35 \cdot (-0,13284))) \cdot 10 = 415,5 \text{ V} && \text{musí být} < 500 \text{ V dle Tab. 4.3.2.2. – SPLŇUJE}
 \end{aligned}$$

4.3.5. Odhad výroby elektrické energie za rok

Odhad výroby elektrické energie fotovoltaických generátorů vytvořených z dvou částí střech byl proveden pomocí aplikace PVGIS nacházejících se na stránkách [27]. Tato aplikace byla vyplněna podle parametrů jednotlivých větví tak, jak je zobrazeno na obrázku Obr. 4.3.5.1.

PV Estimation Monthly radiation Daily radiation Stand-alone PV

Performance of Grid-connected PV

Radiation database: Climate-SAF PVGIS [What is this?]

PV technology: Crystalline silicon

Installed peak PV power 2.4 kWp

Estimated system losses [0;100] 14 %

Fixed mounting options:

Mounting position: Building integrated

Slope [0;90] 27 ° ☐ Optimize slope

Azimuth [-180;180] -45 ° ☐ Also optimize azimuth

(Azimuth angle from -180 to 180, East=-90, South=0)

Tracking options:

☐ Vertical axis Slope [0;90] 0 ° ☐ Optimize

☐ Inclined axis Slope [0;90] 0 ° ☐ Optimize

☐ 2-axis tracking

Horizon file Vybrat soubor Soubor nevybrán

Output options

☐ Show graphs ☐ Show horizon

☒ Web page ☐ Text file ☐ PDF

Calculate [help]

Obr. 4.3.5.1. Nastavení aplikace PVGIS pro výpočet odhadu roční výroby elektrické energie z FV panelů jihozápadní větve.⁵⁰

V dané aplikaci byla zadána velikost instalovaného špičkového výkonu jednotlivé větve FV panelů, účinnost FV panelů, sklon střechy a azimutový úhel. Dále byla na vedle přiložené mapě označena vesnice, kde se řešený objekt nachází. Také se volila technologie FV panelů a možnost, zda se panely nachází na budově nebo jsou volně stojící. V tabulce Tab. 4.3.5.1. jsou vypsány výsledky z výše uvedené aplikace po zadání obou částí střech. Nacházejí se tam hodnoty pro odhad v jednotlivých měsících a suma odhadu získané energie za celý rok.

Pod touto tabulkou se nachází tabulka Tab. 4.3.5.2. v níž jsou uvedeny odhadované ztráty jednotlivých větví. Tyto údaje byly také vyřešeny aplikací PVGIS.

⁵⁰ Zdroj: < <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> > [cit.2013-4-14]

Tab. 4.3.5.1. Odhadované množství vyrobené elektrické energie.

Měsíc	Jihozápadní větev		Jihovýchodní větev		Obě větve	
	E_d (kWh)	E_m (kWh)	E_d (kWh)	E_m (kWh)	E_d (kWh)	E_m (kWh)
Leden	2,01	62,4	2,02	62,5	4,03	124,9
Únor	3,30	92,4	3,30	92,4	6,60	184,8
Březen	5,86	182	5,88	182	11,74	364
Duben	8,42	252	8,45	254	16,87	506
Květen	8,87	275	8,91	276	17,78	551
Červen	9,06	272	9,10	273	18,16	545
Červenec	8,69	269	8,73	270	17,42	539
Srpen	8,43	261	8,47	263	16,90	524
Září	6,31	189	6,34	190	12,65	379
Říjen	4,02	124	4,03	125	8,05	249
Listopad	2,38	71,4	2,38	71,5	4,76	142,9
Prosinec	1,97	61,1	1,97	61,5	3,94	122,6
PRŮMĚR	5,79	176	5,81	177	11,6	352,7
ZA ROK		2111,3		2120,9		4232,2

Kde:

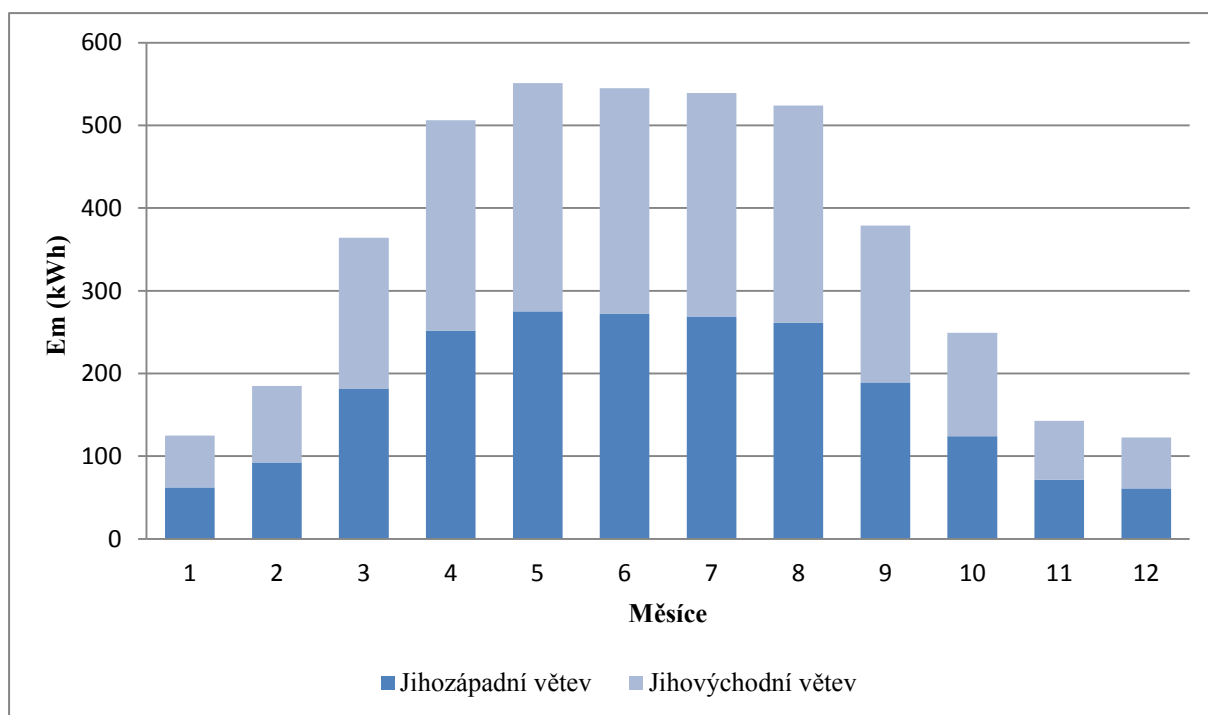
E_d – je průměrná denní výroba elektřiny z FV panelů (kWh),

E_m – je průměrná měsíční výroba elektřiny z FV panelů (kWh).

Tab. 4.3.5.2. Odhadované ztráty jednotlivých větví.

Ztráty jihozápadní větve		Ztráty jihovýchodní větve	
Vlivem teploty a nízké ozářenosti	11,3 %	Vlivem teploty a nízké ozářenosti	10,9 %
Na základě úhlových odrazivostí	3,2 %	Na základě úhlových odrazivostí	3,2 %
Ostatní ztráty	14 %	Ostatní ztráty	14 %
Kombinované ztráty systému	26, 2 %	Kombinované ztráty systému	25,9 %

Z hodnot z tabulky Tab. 4.3.5.1. je sestaven Graf 4.3.5.1. který zobrazuje odhadovanou výrobu všech fotovoltaických panelů za rok i odhadovanou výrobu fotovoltaických panelů jihovýchodní větve a jihozápadní větve. Lze vidět přínos elektrické energie od jednotlivých větví. Ten je rozdílný hlavně díky počtu FV panelů.



Graf 4.3.5.1. Odhad výroby FV panelů za rok.

4.3.6. Návrh ochranných prvků pro FV systém

Základní ochranou je vnější ochrana proti přepětí, která vychází z normy ČSN EN 62 305-3. Jelikož je krytina objektu nevodivá (betonová taška), tak se využije ochrany oddáleným jímacím zařízením.

Dalšími ochrannými prvky jsou jističí prvky na straně DC (stejnoseměrná před střídačem) a na straně AC (střídavá za střídačem). Ochrana FV systémů se věnuje norma ČSN 33 2000-7-712 a z ní jsou čerpány informace pro níže uvedená řešení.

Ochrana na DC straně:

Běžně se provádí ochrana před účinky poruchového zpětného proudu, ale u řešeného FV generátoru to není potřeba, jelikož do střídače vedou pouze dvě větve a při pospojování méně než tří větví nehrozí poškození a použití ochrany není nutné.

Ochrana proti proudovému přetížení na straně DC není potřebná, jelikož proudová zatížitelnost vodiče (použité vodiče na straně DC mají zatížitelnost 50 A) je vyšší než 1,25 násobek zkratového proudu jednotlivé větve FV generátoru:

$$(1,25 \cdot I_{SC}) < 50 \text{ A} \rightarrow (1,25 \cdot 8,58) = 10,73 \text{ A} < 50 \text{ A} \quad (68)$$

Na straně DC budou kabely chráněny pojistkami, jejichž jmenovitý proud bude mít hodnotu 1,4 násobku zkratového proudu FV větve:

$$(1,4 \cdot I_{SC}) > I_n \rightarrow (1,4 \cdot 8,58) = 12,01 > I_n \quad (69)$$

Budou použity válcové pojistky DC pro FV o jmenovitém proudu 16 A.

Na DC straně bude dále použit DC jistič, který musí být volen pro maximální zkratový proud dvou paralelně zapojených větví a který je při venkovní teplotě 70 °C dán vztahem:

$$I_{SC70^{\circ}C} = 2 \cdot (I_{SC} + (45 \cdot k_i)) = 2 \cdot (8,59 + (45 \cdot 0,00515)) = 17,6 \text{ A} \quad (70)$$

Z tohoto vyplývá, že bude použit DC jistič na jmenovitý proud 20 A a pracovní napětí 440 V (to vyplývá z pracovních napětí jednotlivých větví).

Posledním ochranným prvkem na straně DC bude přepět'ová ochrana SPD typu 1, tato ochrana je zakomponovaná do systému i přesto, že již je provedena ochrana oddálením jímacího zařízení. Maximální pracovní napětí ochrany U_c musí mít 1,2x vyšší hodnotu, než je hodnota U_{GENmax} . [24]

Pomocí toho je určena ochrana SPD jednotlivých bloků takto:

$$1,2 \cdot U_{GENmax} \leq U_c \rightarrow 1,2 \cdot 369 = 442,8 \leq U_c$$

Podle těchto předpokladů byla vybrána přepět'ová ochrana SPD SLP-PV500 V/U, jelikož nesmí být překročeno maximální vstupní napětí střídače U_{DCmax} , jak je uvedeno v Tab. 4.3.2.2.

Ochrana na AC straně:

Na AC straně střídače je podle technického listu výrobce střídače Fronius IG 40⁵¹ použit jistič 1x 25 A.

Dále bude použita přepět'ová ochrana SLP- 275V, která je pro tyto účely doporučena firmou Saltek.

⁵¹ Zdroj: < http://www.fronius.com/cps/rde/xbcf/SID-55FDAEE6-74C39FDF/fronius_slovensko/42_0410_1442_95031_snapshot.pdf > [cit.2013-4-14]

5. Způsob zapojení solárního systému do stávajících rozvodů domu

5.1. Způsob zapojení solárního systému pro ohřev TUV a přitápění v řešeném objektu

5.1.1. Popis objektu před využitím solárních kolektorů

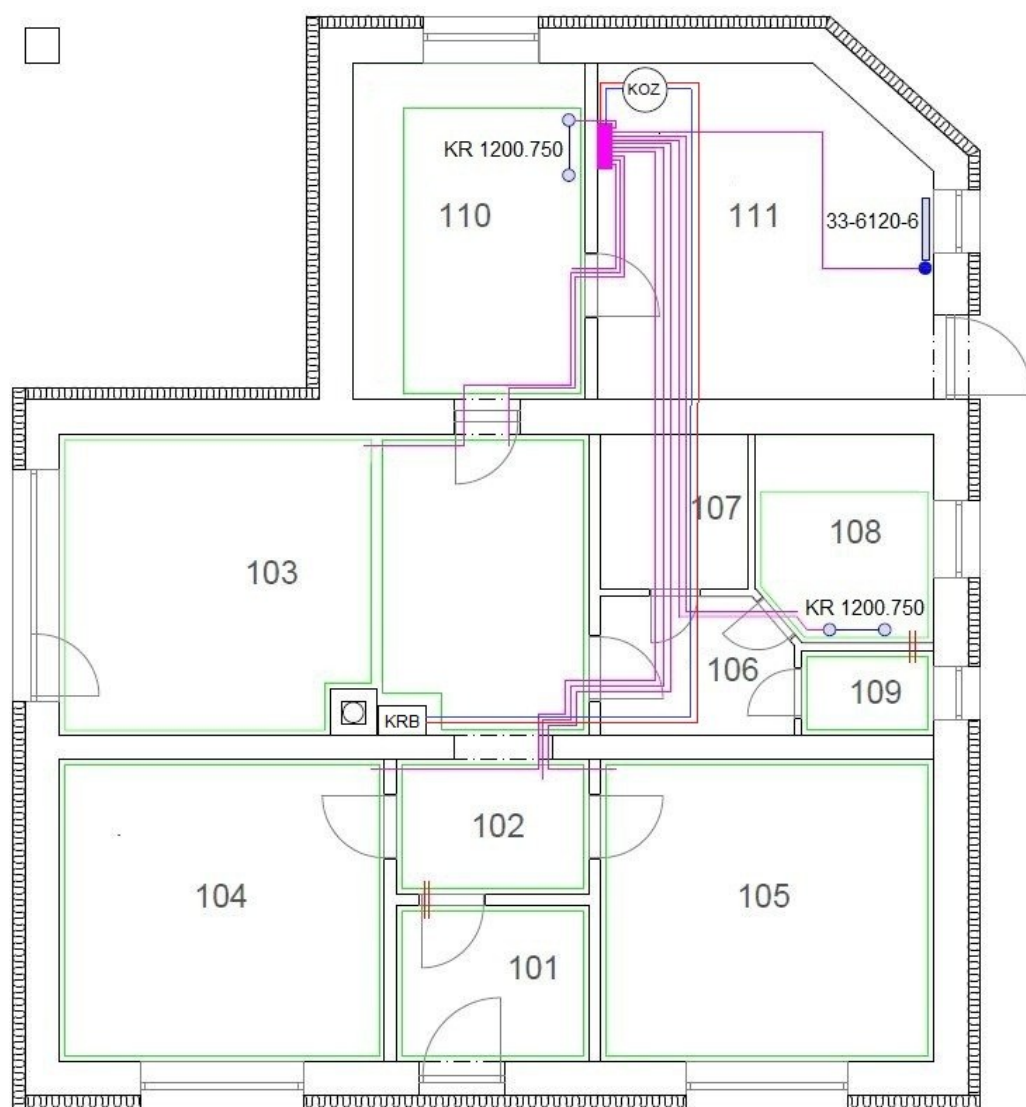
V řešeném objektu bylo již zabudované podlahové teplovodní topení ve všech místnostech, kromě technické místnosti a dílny. V dílně je použito deskové otopné těleso s rozměry 60 x 120 cm (33-6120-6). V Kuchyni a v koupelně jsou ještě přidána žebříková otopná tělesa o rozměrech 75 x 120 cm (KR 1200.750). Podlahové potrubí mají dohromady objem cca 180 l a jejich rozmístění je zobrazeno na obrázku Obr. 5.1.1.1. V obrázku je rovněž zakresleno, kde se nachází krb (krbová kamna). Tato krbová kamna mají zabudovaný výměník a jejich výkon je až 10,4 kW.

V níže uvedené tabulce Tab. 5.1.1.1. jsou vypsány parametry podlahového vytápění jednotlivých místností. V objektu se také nacházejí 2 ks žebříkového topení, jejichž výkon je 537 W, a jedno deskové topení, jehož výkon je 1442 W. Veškeré hodnoty v níže uvedené tabulce a obrázek Obr. 5.1.1.1. jsou převzaty z materiálu projektové dokumentace, které byly poskytnuty majitelem objektu.

Tab. 5.1.1.1. Parametry podlahového vytápění.⁵²

Č. místnosti	Účel místnosti	Výkon smyčky (W)	Délka smyčky (m)	Délka přívodu (m)	Hmotnostní průtok (kg/h)	Rozteč potrubí (mm)
101	Zádveří	542	31,5	21	34,2	300
102	Chodba 1	163				
103	Ob. pokoj + jid.	888+874	54+34	16,6+15,2	65,6+62,3	300
104	Pokoj 1	1813	53	24	64,8	300
105	Pokoj 2	1828	54	19,8	65,6	300
106	Chodba 2	105	Pouze procházející potrubí od rozdělovače			
107	Tech. místnost	57	Pouze procházející potrubí od rozdělovače			
108	Koupelna	641	20,5	18,2	126,6	300
109	WC	228				
110	Kuchyně	1124	37,5	3	101,4	225
111	Dílna	317	Pouze procházející potrubí od rozdělovače			

⁵² Tyto informace byly zjištěny z projektové dokumentace dodané majitelem objektu.



Obr. 5.1.1.1. Vytápění v řešeném objektu.⁵³

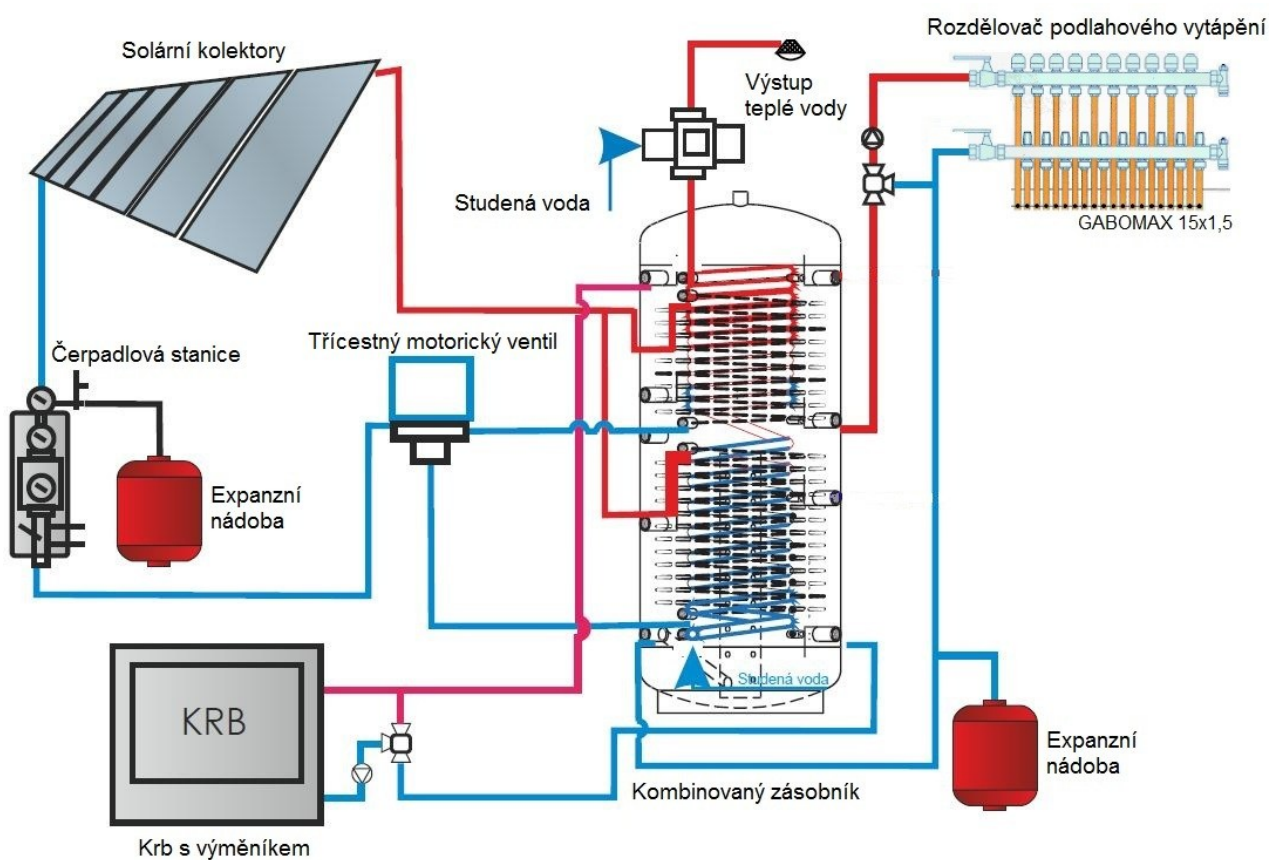
Kde:

- je jedno čárové zakreslení přívodu a odvodu z jednotlivých smyček,
- je odvod teplé vody (měděná trubka s termoizolační trubicí z mirelonu),
- je přívod studené vody (měděná trubka s termoizolační trubicí z mirelonu),
- je rozdělovač podlahového vytápění,
- je hranice jednotlivých smyček podlahového vytápění,
- KOZ je kombinovaný zásobník,
- KRB jsou krbová kamna s výměníkem.

⁵³ Vytvořeno autorem pomocí programu AutoCAD.

5.1.2. Zapojení solárního systému v obytném domě

Na jihovýchodní část střechy rodinného domu je namontováno 6 ks slunečních kolektorů, které jsou propojeny potrubím SFCu o průměru 22 mm, toto potrubí pak putuje přes půdu RD do dílny (místnost 111), kde se nachází čerpadlová jednotka, zásobník a expanzní nádoby. Schéma topné soustavy je naznačeno na obrázku Obr. 5.1.2.1. Elektrické schéma není zapotřebí, jelikož celá čerpadlová jednotka má vyveden jeden kabel pro připojení na 230 V a ten bude připojen do rozváděcí skříně, která se nachází v daném místě. Výrobce čerpadla uvádí, že ochrana motoru není potřeba.



Obr. 5.1.2. Schéma topné soustavy pro vytápění a ohřev TUV v řešeném objektu.⁵⁴

⁵⁴ Vytvořeno autorem pomocí programu Malování z obrázku uvedeného firmou TWI s.r.o.

5.2. Způsob zapojení fotovoltaického systému v řešeném objektu

5.2.1. Popis objektu před využitím fotovoltaických panelů

Daný objekt se v době řešení fotovoltaického systému nacházel v rozsáhlé rekonstrukci. Střecha objektu již byla po rekonstrukci, ale elektroinstalace ještě ne. Majitelem objektu bylo určeno, že hlavní domovní rozvaděč se bude nacházet v místě, kde byl ten původní, tedy v zádveři (místnost 101). Do tohoto místa budou přivedeny vodiče z jednotlivých elektroměrů FV systému, které se budou nacházet hned vedle rozvaděče.

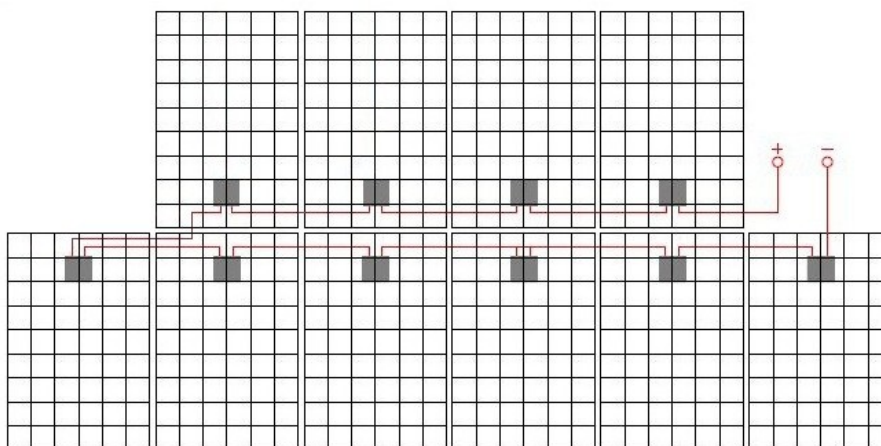
V následujících podkapitolách bude řešeno zapojení jednotlivých fotovoltaických systémů do větví a následně zobrazeno elektrické schéma zapojení celého FV systému.

5.2.2. Zapojení fotovoltaických panelů do příslušných větví.

Fotovoltaické panely jsou zapojeny do dvou větví sériově a ty jsou paralelně připojené na střídač. V následujících obrázcích Obr. 5.2.2.1. a Obr. 5.2.2.2. je zakresleno, kudy vedou propojovací kabely.

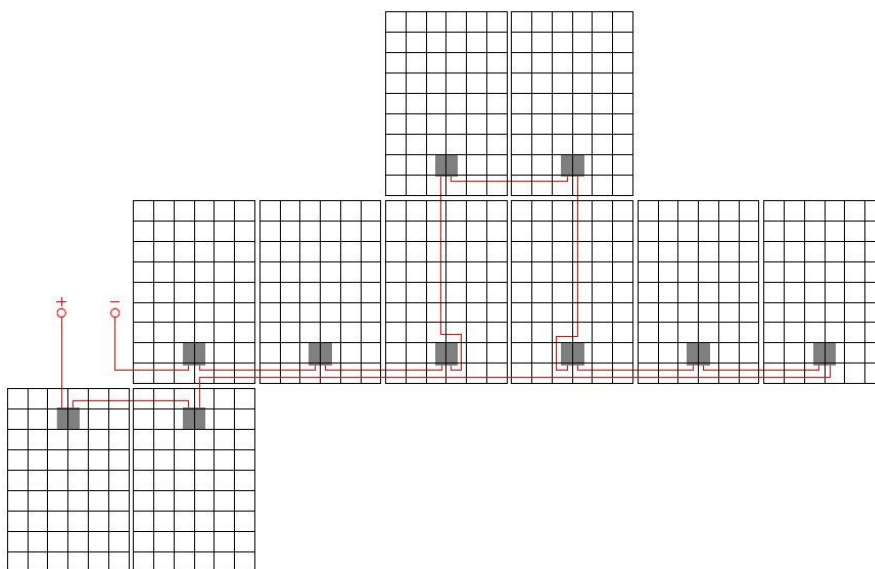
Propojovací kabely jsou použity flexiSUN 4 mm², jejichž proudová zatížitelnost je 50A. U jihozápadní větve je potřeba cca 20 m kabelu a u jihovýchodní větve cca 22 m.

Kabely jednotlivých větví vedou až do půdních prostor, kde jsou napojeny do rozváděcí skříně. V rozváděcí skříni se nachází odpínač s pojistkami a přepěťová ochrana. Parametry těchto částí jsou uvedeny v podkapitole 4.3.6.



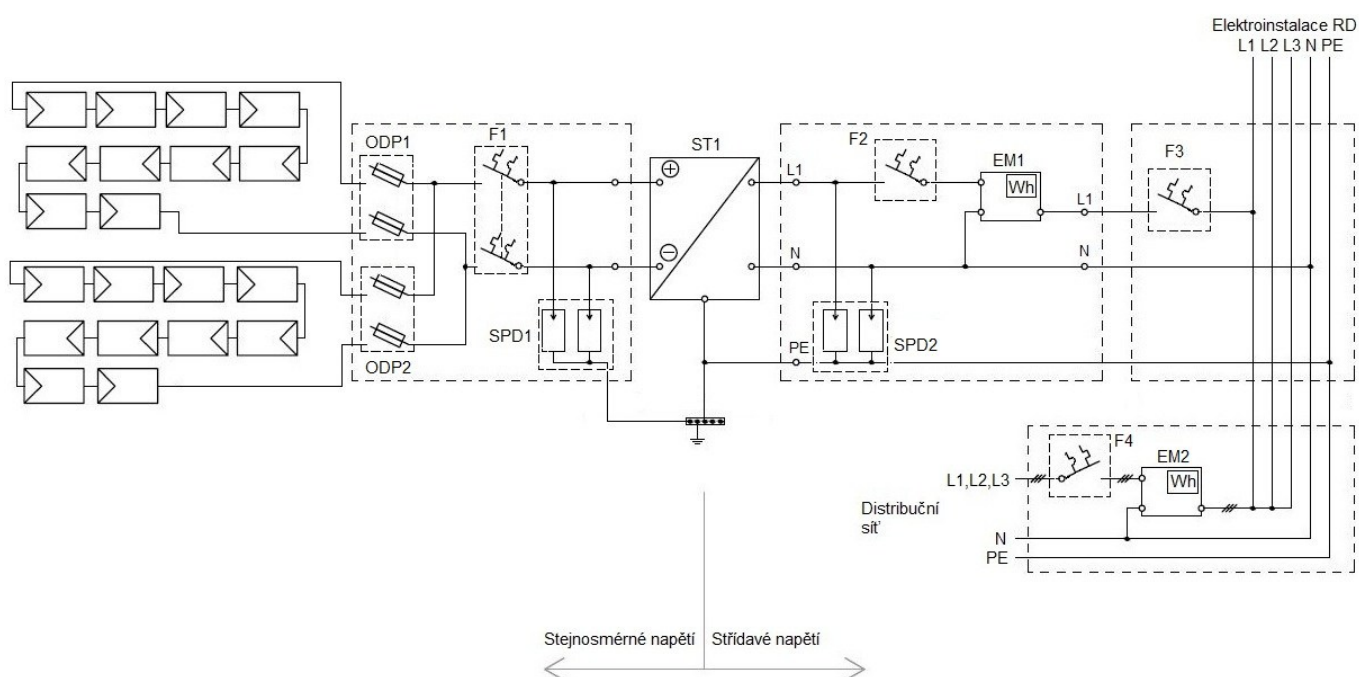
Obr. 5.2.2.1. zapojení a vedení kabelů FV panelů u jihozápadní větve.⁵⁵

⁵⁵ Vytvořeno autorem pomocí programu AutoCAD.



Obr. 5.2.2.2. zapojení a vedení kabelů FV panelů u jihovýchodní větve.⁵⁶

5.2.3. Schéma zapojení FV systému



Obr. 5.2.3.1. Schéma FV systému.⁵⁸

⁵⁶ Vytvořeno autorem pomocí programu AutoCAD.

Kde:

F1 – je dvoupólový DC jističe 20 A/440 V,
ODP1, ODP2 – jsou dvoupólové pojistkové odpojovače s dvěma pojistkami 16 A,
F2 – je jednofázový jistič 25 A,
F5 – je jednofázový jistič C 32 A,
F4 – je hlavní třífázový jistič 40 A,,
EM1 – je jednofázový elektroměr,
EM2 – je třífázový elektroměr,
ST1 – střídač Fronius IG 40,
SPD1 – je přepět'ová ochrana SLP-PV500 V/U,
SPD2 – je přepět'ová ochrana SLP- 275V.

Všechny jističe, pojistky a přepět'ové ochrany byly navrženy podle podkapitoly 4.3.6. a volba střídačů byla provedena podle podkapitoly 4.3.4.

6. Ekonomické zhodnocení, návratnost investice do navrženého solárního systému

6.1. Ekonomické zhodnocení a návratnost solárního systému pro ohřev TUV a vytápění

Ekonomické zhodnocení je provedeno pro dvě varianty, jelikož majitel před úvahou o použití solárních kolektorů chtěl použít pro ohřev TUV a vytápění kotel na zemní plyn (tak byl vytápěn dům před kompletní rekonstrukcí a majitel s tím byl spokojen). Proto je níže v tabulce Tab. 6.1.1. vyčísleno, kolik by stál systém s kotlem na zemní plyn a kolik bude stát solární systém s krbovými kamny. Krbová kamna s výměníkem se volila jako doplňkový zdroj k solárnímu systému na přání majitele.

Tab. 6.1.1. Ceny dvou variant systémů.

Systém s kombinovaným plynovým kotlem		Solární systém s krbovými kamny	
Část systému	Cena	Část systému	Cena
Kotel ARISTON GENUS EVO 35	38 090,-	Solární set stratoSOL DUO 6.10 (viz. Tab. 4.2.5.1.)	202 919,-
Zásobník OKCV 200 NTR	7 790,-	Krbová kamna Haas+Sohn TRINO	25 511,-
Expanzní nádoba 35 litrů	1 301,-	Expanzní nádoba 35 litrů	1 301,-
Cu trubky s izolací 6 m	900,-	Cu trubky s izolací 26 m	3 900,-
Σ	48 081,-	Σ	233 631,-

Z tabulky Tab. 6.1.1. je patrné, že systém s kombinovaným plynovým kotlem má mnohem nižší pořizovací náklady. Následující výpočty ukazují, kolik by majitel platil za TUV a vytápění kdyby měl plynový kotel, a kdyby měl solární systém kombinovaný s krbovými kamny. Cena plynu, elektřiny a dřeva se pro zjednodušení uvažuje stejná i v následujících letech. Výpočet vychází z podkapitoly 3.6., kde je uvedeno, že potřebná energie pro vytápění a ohřev TUV v řešeném objektu za jeden rok je 16977 kWh.

Roční náklady na provoz systému s kombinovaným plynovým kotlem:

$$N_{PK} = \frac{Q_{p,c}}{\eta_{PK}} \cdot s_{pl} = \frac{16977}{0,972} \cdot 1,253 = 21\,884 \text{ Kč/rok} \quad (71)$$

Kde:

N_{PK} – jsou roční náklady na přípravu TUV a vytápění za použití plynového kotle (Kč/rok),

$Q_{p,c}$ – je roční spotřeba energie pro ohřátí TUV a vytápění (kWh),

η_{PK} – je účinnost plynového kotle (-),

s_{pl} – je sazba zemního plynu k 1.1.2013 nalezena z [30] (Kč/kWh).

Účinnost plynového kotle byla určena z technické dokumentace výrobku uvedeného na internetové stránce prodejce [15]. Do ročního nákladu není zakomponovaná cena údržby.

Roční náklady na provoz solárního systému a krbových kamen:

Solární systém s kolektory má roční využitelné tepelné zisky cca $Q_{ss,u(Rok)} = 4201$ kWh (viz. podkapitola 4.2.6.), to znamená, že zbylých 12780 kWh energie potřebné pro vytápění a přípravu TUV musí být získáno pomocí krbových kamen.

Pro výpočet nákladu na palivové dříví je potřeba převést potřebnou energii z kWh na MJ, protože výhřevnost se udává v MJ/PRM a cena dřeva je uvedena v Kč/PRM. Zkratka PRM znamená, že je dřevo rovnáno do rozměru 1 m³. Tedy 12.780 kWh je 46.010 MJ a výpočet nákladů je:

$$N_{KK} = \frac{Q_{p,c} - Q_{ss,u(rok)}}{\eta_{KK} \cdot Q_i} \cdot cp = \frac{46010}{0,85 \cdot 7430} \cdot 1200 = 8\,742 \text{ Kč/rok} \quad (72)$$

Kde:

N_{KK} – jsou roční náklady na přípravu TUV a vytápění za použití krbových kamen (Kč/rok),

$Q_{p,c}$ – je roční spotřeba energie pro ohřátí TUV a vytápění (MJ),

$Q_{ss,u(Rok)}$ – je roční spotřeba energie pro ohřátí TUV a vytápění (MJ),

Q_i – je výhřevnost použitého paliva (Dub = 7430 MJ/PRM), (MJ/PRM),

η_{KK} – je účinnost krbových kamen (-),

cp – je cena palivového dříví (Dub = 1200 Kč/PRM), (Kč/PRM).

Samotný solární systém s kolektory nemá skoro žádný odběr energie, jen oběhová čerpadla, která mají roční spotřebu přibližně 104 kWh (viz. podkapitola 3.5.4.). Při použití tarifu elektřiny D01d je cena včetně DPH 5,72 Kč/kWh, tedy náklady na provoz solárního systému jsou přibližně:

$$N_{SS} = Q_{OČ} \cdot s_{el} = 104 \cdot 5,72 = 595 \text{ Kč/rok} \quad (73)$$

Kde:

N_{SS} – jsou roční náklady na přípravu TUV a vytápění za použití solárního systému (Kč/rok),

$Q_{OČ}$ – je roční spotřeba energie pro oběhová čerpadla systému (kWh),

s_{el} – je sazba za elektřinu při tarifu D01d pro rok 2013 (Kč/kWh).

Celkové roční náklady na provoz solárního systému a krbových kamen pro vytápění a přípravu TUV je:

$$N_{SSaKK} = N_{KK} + N_{SS} = 8742 + 595 = 9\,337 \text{ Kč/rok} \quad (74)$$

Kde:

N_{SS} – jsou roční náklady na přípravu TUV a vytápění za použití solárního systému (Kč/rok),

N_{KK} – jsou roční náklady na přípravu TUV a vytápění za použití krbových kamen (Kč/rok),

N_{SSaKK} – jsou roční náklady na přípravu TUV a vytápění za použití solárního systému a krbových kamen (Kč/rok),

Pokud by byla použita varianta se solárními kolektory a krbovými kamny, tak by oproti systému s plynovým kotlem (který chtěl majitel původně použít) byla úspora provozních nákladů následující:

$$úspora = N_{PK} - N_{SSaKK} = 21884 - 9337 = 12\,547 \text{ Kč/rok} \quad (75)$$

Aby bylo možné zjistit dobu návratnosti použitého systému (solární systém a krbové kamna), tak musí být nejprve zjištěn rozdíl investičních nákladů mezi oběma variantami, tedy o kolik dražší bude použití solárního systému s krbovými kamny než použití systému s plynovým kotlem. Z tabulky Tab. 6.1.1. lze snadným výpočtem zjistit, že solární systém s krbovými kamny bude dražší o 185.550 Kč.

Doba návratnosti investice bude vypočtena jednoduchým podílem rozdílu investičních nákladů obou variant a úsporou v jednom roce takto:

$$Doba\ návratnosti = \frac{\text{rozíl investičních nákladů}}{\text{úspora}} = \frac{185550}{12547} \cong 14,8 \text{ let} \quad (76)$$

6.2. Ekonomické zhodnocení a návratnost fotovoltaického systému

V níže uvedené tabulce Tab. 6.2.1. jsou vypsány části fotovoltaického systému a jejich ceny. Z toho lze vidět, jaká velká bude případná investice při realizaci tohoto systému. Ceny se mohou lišit v závislosti na cenách prodejců, ale podle stanovených cen lze říct, že cena instalovaného výkonu 1 kW_p je 39.886 Kč, což splňuje podmínku stanovenou vyhláškou č. 347/2012 Sb.

Tab. 6.2.1. Investiční náklady.

Část systému	Počet	Cena/ks(m), (Kč)	Cena (Kč)
FV panel – Kyocera KD240GH-4YU, 240 W _p	20 ks	5 554,-	134 407,-
Montážní sada pro FV panely do 5 kW _p	1 ks	12 382,-	12 382,-
Střídač – Fronius IG 40	1 ks	33 302,-	33 302,-
DC kabel - flexiSUN (4mm ²)	42 m	23,-	966,-
AC kabel – CYKY-J 3x6	5 m	58,-	290,-
Rozváděcí skříň na str. DC s jisticími prvky	1 ks	4 667,-	4 667,-
Rozváděcí skříň na str. AC s jisticími prvky a elektroměrem	1 ks	2 140,-	2 140,-
Revize	-	-	2 000,-
Kolek pro udělení licence	-	-	1.000,-
Ověřovací poplatek	-	-	300,-
Celkem			191.454,-

Při řešení návratu investice jsou dvě možné varianty jak naložit s vyrobenou elektřinou. Jednou z nich je přímý výkup a druhou získávání zeleného bonusu. Obě dvě varianty jsou pro rok 2013 finančně příznivější u FVE s instalovaným výkonem do 5 kW_p, než s instalovaným výkonem 5 až 30 kW_p. Proto již u návrhu se postupovalo tak, aby FV generátory nepřekročily celkový instalovaný výkon 5 kW_p.

Od předešlých let, kdy byla výkupní cena elektřiny mírně až přehnaně vysoká, je v roce 2013 výkupní cena elektřiny dosti malá a konkrétní hodnoty pro tento rok (2013) jsou uvedeny v tabulce Tab. 6.2.2.

Tab. 6.2.2. Výkupní ceny elektřiny (bez DPH) z FVE pro rok 2013.⁵⁷

Datum uvedení výroby do provozu		Instalovaný výkon výroby (kW)		Jedno tarifní pásmo provozování	
Od (včetně)	Do (včetně)	Od	Do (včetně)	Výkupní ceny (Kč/MWh)	Zelené bonusy (Kč/MWh)
1. 1. 2013	30. 6. 2013	0	5	3 410	2 860
1. 1. 2013	30. 6. 2013	5	30	2 830	2 280
1. 7. 2013	31. 12. 2013	0	5	2 990	2 440
1. 7. 2013	31. 12. 2013	5	30	2 430	1 880

⁵⁷ Zdroj: <<http://www.gsenenergy.eu/cs/vykupni-ceny-zeleny-bonus.html>> [cit.2013-4-25]

Pokud by se tedy majitel rozhodl postavit FVE na svou střechu v první polovině roku 2013, a chtěl by veškerou vyrobenou elektrickou energii prodat distributorovi, tak by za každou vyrobenou 1 kWh dostal 3,41 Kč. Tato cena je pevná od uvedení výroby do provozu po dobu 20 let podle vyhlášky č. 347/2012 Sb. Cena se bude jen nepatrně zvedat o 2 – 4 % z důvodu inflace.

Výhodnější variantou, a v Tab. 6.2.3. zobrazenou, je využití tzv. Zelených bonusů, kdy za každou vyrobenou 1 kWh dostane majitel 3,46 Kč (2,86 Kč bez DPH) a ještě ji může veškerou spotřebovat. Pokud ji nespotřebuje, tak ji prodá jako přebytek za smlouvanou tržní cenu (cca 0,40 Kč/kWh [29]). Například jestli majitel vyrobí 1 kWh a spotřebuje ji, tak vydělá 3,46 Kč na zeleném bonusu a navíc ji nemusí odkoupit z distribuční sítě za 5,72 Kč (cena ČEZu pro tarif D01d). Je tedy v zisku 9,18 Kč. V níže uvedené tabulce Tab. 6.2.3. je tedy zobrazena doba návratnosti investice, kdyby majitel využil variantu Zeleného bonusu.

Tab. 6.2.3. Doba návratnosti investice FVE v řešeném objektu (ceny s DPH).

Rok	Výkon FVE (kW)	Vyrobena energie (kWh/rok)	Zelený bonus (Kč/kWh)	Odhad Přebytků (kWh/rok)	Výnosy ze zeleného bonusu	Úspora nákladů	Prodej přebytk.	Stav účtu
2013	4,80	4232	3,46	3669	14 643 Kč	3 221 Kč	1 761 Kč	-171 828 Kč
2014	4,76	4199	3,53	3636	14 818 Kč	3 285 Kč	1 745 Kč	-151 980 Kč
2015	4,72	4165	3,60	3602	14 994 Kč	3 351 Kč	1 729 Kč	-131 906 Kč
2016	4,69	4132	3,67	3569	15 173 Kč	3 418 Kč	1 713 Kč	-111 602 Kč
2017	4,65	4099	3,75	3536	15 353 Kč	3 486 Kč	1 697 Kč	-91 065 Kč
2018	4,61	4067	3,82	3504	15 536 Kč	3 556 Kč	1 682 Kč	-70 291 Kč
2019	4,58	4035	3,90	3472	15 721 Kč	3 627 Kč	1 666 Kč	-49 276 Kč
2020	4,54	4003	3,97	3440	15 908 Kč	3 700 Kč	1 651 Kč	-28 017 Kč
2021	4,50	3971	4,05	3408	16 098 Kč	3 774 Kč	1 636 Kč	-6 510 Kč
2022	4,47	3939	4,14	3376	16 289 Kč	3 849 Kč	1 621 Kč	15 249 Kč
2023	4,43	3908	4,22	3345	16 483 Kč	3 926 Kč	1 606 Kč	37 264 Kč
2024	4,40	3877	4,30	3314	16 679 Kč	4 005 Kč	1 591 Kč	59 539 Kč
2025	4,36	3846	4,39	3283	16 878 Kč	4 085 Kč	1 576 Kč	82 077 Kč
2026	4,33	3816	4,48	3253	17 079 Kč	4 167 Kč	1 561 Kč	104 884 Kč
2027	4,29	3785	4,57	3222	17 282 Kč	4 250 Kč	1 547 Kč	127 963 Kč
2028	4,26	3755	4,66	3192	17 488 Kč	4 335 Kč	1 532 Kč	151 318 Kč
2029	4,23	3726	4,75	3163	17 696 Kč	4 422 Kč	1 518 Kč	174 954 Kč
2030	4,19	3696	4,84	3133	17 907 Kč	4 510 Kč	1 504 Kč	198 874 Kč
2031	4,16	3667	4,94	3104	18 120 Kč	4 600 Kč	1 490 Kč	223 084 Kč
2032	4,13	3638	5,04	3075	18 336 Kč	4 692 Kč	1 476 Kč	247 588 Kč
SUMA					328 481	78 260	32 301	Kč

Z výše uvedené tabulky Tab. 6.2.3. je patrné, že návratnost investice do FV systému by měla být 9 let. To ovšem za podmínky, že všechny hodnoty určené odhadem se nebudou výrazněji lišit od hodnot skutečných, v současnosti obtížně predikovatelných.

Jednou z těchto odhadovaných hodnot, určených na základě konzultace s majitelem objektu, je úspora nákladů za odběr elektřiny ze sítě, která vychází z předpokladu, že každý rok bude v rámci vlastní spotřeby objektu využito přibližně 563 kWh elektrické energie vyrobené FVE. To odpovídá 15 % odhadované celkové spotřeby objektu, tedy 3754 kWh/rok. Majitel objektu je živnostník, který bude uvnitř provozovat truhlářskou dílnu, a to zejména během denních hodin. V případě, že by tomu tak nebylo, byla by odhadovaná úspora nákladů ještě menší.

Dalším důležitým parametrem je cena elektřiny, u které bylo uvažováno s jejím zvyšováním (zdražováním) o 2 % ročně. Dále je to výnos za prodej přebytků elektřiny z FVE, kdy bylo uvažováno se smluvnou tržní cenou 0,48 Kč/kWh (0,40 Kč/kWh bez DPH) a dále elektrická energie vyrobená FVE, která byla určena výpočtem za pomoci aplikace PVGIS, přičemž skutečná výroba může být odlišná.

V tabulce 6.2.3. si lze dále všimnout, že výkon FVE postupně klesá, což je dáno životností FV panelů, u nichž se předpokládá pokles jmenovitého výkonu o 0,8 % ročně.

7. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout solární systém pro podporu vytápění, ohřívání TUV a výrobu elektřiny. Tento návrh vycházel nejprve ze seznámení se solárními systémy, které jsou popsány v kapitole 2., kde jsou popsány i jiné obnovitelné zdroje energie, a dále ze stavu a parametrů objektu.

Z daných parametrů objektu se v kapitole 3. vypočetla energetická bilance, tedy velikost tepelných ztrát, která činila **4988 W** a potřeba energie pro vytápění a ohřev TUV. Potřebná energie pro vytápění je **8855 kWh/rok** a pro ohřev TUV je **8122 kWh/rok** pokud budou v objektu 4 osoby. Dále byla vypočtena odhadovaná hodnota spotřeby elektrické energie po konzultaci s majitelem objektu, a ta je **3754 kWh/rok**.

Jakmile byly známy potřeby energie řešeného objektu, tak se navrhla v kapitole 4.2. potřebná plocha solárních kolektorů pro pokrytí aspoň 20 % spotřeby TUV a přitápění. Z této plochy se určila výsledná plocha kolektoru, která je **12,1 m²**. Systém by měl mít výsledné pokrytí potřeby **24,7 %**. Dalším krokem bylo navržení FVE na střechu objektu, což je řešeno v kapitole 4.3. Tato střecha měla dost velkou plochu s vhodným azimutovým úhlem i sklonem, takže se spíše vycházelo z vyhlášky č. 347/2012 Sb. a z ceníku výkupu elektřiny vyrobené FVE, který vydal ERÚ. Daná vyhláška určuje velikost investičních nákladů na velikost instalovaného výkonu FVE a zároveň se zavazuje po dobu 20 let neměnit výkupní ceny. Z výkupních cen stanovených ERÚ vyplývá, že nejcennější je elektřina vyrobená z FVE do instalovaného výkonu 5 kW_p. Proto bylo zvoleno 20 ks FV panelů s celkovým instalovaným výkonem **4,8 kW_p**. Pomocí aplikace PVGIS bylo určeno, že roční zisk energie by mohl být **4232,2 kWh**.

Po zjištění velikosti a určení všech částí jednotlivých solárních systémů bylo v kapitole 5. popsáno a zakresleno jak se oba systémy napojí na stávající rozvody řešeného objektu.

Posledním krokem této práce bylo provést ekonomické zhodnocení a zjistit návratnost investice. Solární systém pro ohřev TUV a podporu přitápění bude mít návratnost investice přibližně **15 let** a fotovoltaický systém přibližně **9 let**. U obou systémů se jedná pouze o kvalifikovaný odhad, jelikož se nedá z přesností říct, zda výše vypočtené hodnoty budou stoprocentně shodné s realitou. U solárního systému pro ohřev TUV a přitápění je větší pravděpodobnost přesnosti odhadu návratu investice, protože tento systém byl přímo navrhován na potřeby domu, na rozdíl od FVE, kde návratnost investice ovlivňují např. ceny přebytků.

8. Použitá literatura

Knihy a brožury:

- [1] BERANOVSKÝ J., TURXA J., a kolektiv, *Alternativní energie pro váš dům*. 2.vyd. Brno: ERA group spol. s r. o., 2004. 125s. ISBN: 80-86517-89-6
- [2] Doc. RNDr. CENKA M., a tým autorů, *Obnovitelné zdroje energie*. 2. vyd. Praha: FCC PUBLIC s.r.o., 2001. 208s. ISBN: 80-901985-8-9
- [3] DAHLSVEEN T., PETRÁŠ D., HIRŠ J., *Energetický audit budov*. 1. vyd. Bratislava: Jaga group, s. r. o., 2003. 295s. ISBN: 80-88905-86-9
- [4] HASELHUHN R., *Fotovoltaika, Budovy jako zdroj proudu*. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2011. 176s. ISBN: 978-80-86167-33-6
- [5] MATUŠKA T., *Solární tepelné soustavy I*. 1. vyd. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2009. 194s. ISBN: 978-80-02-02186-5
- [6] MATUŠKA T., *Zjednodušený výpočtový postup energetického hodnocení solárních soustav*. ČVUT v Praha: Fakulta strojní, 2009. 13s. Dostupné z WWW: < http://www.opzp.cz/soubor-ke-stazeni/14/4497-metodika_bilance_ss.pdf>
- [7] MURTINGER K., BERANOVSKÝ J., TOMEŠ M., *Fotovoltaika. Elektřina ze slunce*. 2.vyd. Brno: ERA group spol. s r. o., 2008. 81s. ISBN: 978-80-7366-133-5
- [8] MURTINGER K., TRUXA J., *Solární energie pro váš dům*. 1.vyd. Brno: Computer Press, 2010. 99s. ISBN: 978-80-251-3241-8
- [9] PETRÁŠ D., a kolektiv, *Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie*. 1.vyd. Bratislava: Jaga group, s. r. o., 2008. 207s. ISBN: 978-80-8076-069-4
- [10] SRDEČNÝ K., *Energeticky soběstačný dům*. 2.vyd. Brno: ERA group spol. s r. o., 2007. 89s. ISBN: 978-80-7366-103-8
- [11] VAVERKA J., a kolektiv, *Stavební tepelná technika a energetika budov*. 1.vyd. Brno: nakladatelství VUTIUM, 2006. 648s. ISBN: 80-214-2910-0

Normy:

- [12] ČSN 33 2000-7-712, Český normalizovaný institut, r.2006. 12s
- [13] TNI 73 0329, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, r.2009. 11s

Internet:

- [14] bestservis.cz, Bestservis, [online]. [cit.2012-11-7] Dostupný z WWW: <<http://www.bestservis.cz/fotovoltaika.htm>>
- [15] gas.cz, GAS, Profesionální prodejce varné a topné techniky, [online]. [cit.2013-4-23] Dostupný z WWW: <<http://www.gas.cz/product/ariston-genus-premium-evo-35-duben-doprava-zdarma:6735/>>
- [16] helion.cz, HELION.CZ s.r.o., [online]. 2012 [cit.2012-11-21] Dostupný z WWW: <<http://www.helion.cz/index.php/produkty/vetrne-elektrarny/item/11-v%C4%9Btrn%C3%A9-elekt%C3%A1rny>>
- [17] nazeleno.cz, xBizon s.r.o., [online]. 2008 [cit.2012-11-21] Dostupný z WWW: <<http://www.nazeleno.cz/energie/mala-vetrna-elektrarna-v-praxi-kolik-vydela.aspx>>
- [18] i-ekis.cz, Internetové energetické konsultační a informační středisko ČEA, [online]. 2001-2008 [cit.2013-2-7] Dostupný z WWW: <<http://www.i-ekis.cz/?page=biomasa>>
- [19] i-ekis.cz, Internetové energetické konsultační a informační středisko ČEA, [online]. 2001-2008 [cit.2013-2-6] Dostupný z WWW: <<http://www.i-ekis.cz/?page=prostredi>>
- [20] i-ekis.cz, Internetové energetické konsultační a informační středisko ČEA, [online]. 2001-2008 [cit.2012-11-21] Dostupný z WWW: <<http://www.i-ekis.cz/?page=vitr>>
- [21] i-ekis.cz, Internetové energetické konsultační a informační středisko ČEA, [online]. 2001-2008 [cit.2012-10-30] Dostupný z WWW: <<http://www.i-ekis.cz/?page=slunce-teplo>>
- [22] i-ekis.cz, Internetové energetické konsultační a informační středisko ČEA, [online]. 2001-2008 [cit.2012-11-7] Dostupný z WWW: <<http://www.i-ekis.cz/?page=slunce-elektrina>>
- [23] mastertherm.cz, MasterTherm Tepelná čerpadla, [online]. 2012 [cit.2013-2-6] Dostupný z WWW: <<http://www.mastertherm.cz/princip-tepelneho-cerpadla>>
- [24] odbornecasopisy.cz, Odborný Časopis pro elektrotechniku, [online] 2013. [cit.2013-4-14] Dostupný z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=41910>
- [25] opzp.cz, Operační program životního prostředí, [online] 2013. [cit.2013-4-30] Dostupný z WWW: <http://www.opzp.cz/soubor-ke-stazeni/14/4497-metodika_balance_ss.pdf>
- [26] rd-shop.cz, LED svítidla, [online]. 2013 [cit.2013-3-25] Dostupný z WWW: <<http://www.rd-shop.cz/www-rd-shop-cz/5-INFO-o-LED-technologie/2-Vyhody-LED-osvetleni>>
- [27] re.jrc.ec.europa.eu, Aplikace PVGIS pro Evropu, [online]. 2013 [cit.2013-4-14] Dostupný z WWW: <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>>
- [28] sany.cz, SANY s.r.o., [online]. [cit.2012-11-14] Dostupný z WWW: <<http://www.sany.cz/www/elektrina-ze-slunce/regulatory-nabijeni/>>
- [29] snizujeme.cz, Snižujeme.cz, [online]. 2011-2013 [cit.2013-3-26] Dostupný z WWW: <<http://www.snizujeme.cz/clanky/jak-vypocitat-spotrebu-elektricke-energie>>

- [30] solarinvest.cz, SOLAR INVEST Solární systémy na klíč , [online]. 2009-2010 [cit.2013-4-27]
Dostupný z WWW: < <http://www.solarinvest.cz/konzultace/61-stop-stav-ukonen> >
- [31] tzb-info.cz, Topinfo s.r.o. Technická Zařízení Budov, [online] 2001 - 2013. [cit.2013-4-23]
Dostupný z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/prehled-cen-zemniho-plynu>>
- [32] tzb-info.cz, Topinfo s.r.o. Technická Zařízení Budov, [online] 2001 - 2013. [cit.2013-2-7]
Dostupný z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/945-vyuziti-biomasy-a-akumulacni-zdroje-pro-vytapeni-rd>>
- [33] tzb-info.cz, Topinfo s.r.o. Technická Zařízení Budov, [online] 2001 - 2013. [cit.2013-2-26]
Dostupný z WWW: <<http://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapeni-a-ohrev-teple-vody>>
- [34] tzb-info.cz, Topinfo s.r.o. Technická Zařízení Budov, [online] 2001 - 2013. [cit.2013-3-26]
Dostupný z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/2573-obehova-cerpadla-a-hydraulika-solarnich-soustav-ii>>
- [35] tzb-info.cz, Topinfo s.r.o. Technická Zařízení Budov, [online] 2001 - 2013. [cit.2013-4-4]
Dostupný z WWW: <<http://oze.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/131-zjednodusena-balance-solarniho-kolektoru>>

Seznam obrázků a grafů

Obr. 2.1.1	Blokové schéma využití solárního záření	2
Obr. 2.2.1.1.	Roční průměrné sumy globálního záření	3
Obr. 2.2.3.1	Provedení absorberu různých kapalinových kolektorů	5
Obr. 2.2.3.2.	Řez plochým kapalinovým kolektorem	5
Obr. 2.2.3.3	Vakuový trubicový kolektor a řez vakuové trubice.	6
Obr. 2.2.3.4.	Trubkový koncentrační kolektor s reflektorem a koncentrační kolektor s Fresnelovou čočkou	6
Obr. 2.2.4.1.	Schéma solárního zásobníku s dvěma výměníky a el. topnicí	7
Obr. 2.2.6.1.	Akumulační kolektor a samotížný systém	8
Obr. 2.2.6.2.	Základní zapojení aktivního dvouokruhového solárního systému	9
Obr. 2.2.7.1.	Trombeho stěna a Voštinová izolace: 1-lepicí tmel, 2-panel transparentní izolace, 3-transparentní lepidlo, 4-transparentní povrchová úprava	10
Obr. 2.2.7.2.	Vzduchový kolektor	10
Obr. 2.3.1.1	Průměrná produkce fotovoltaického panelu (účinnost 17%).	12
Obr. 2.3.3.1	Solární systémy off-grid a on-grid	13
Obr. 2.3.4.1	Princip solárního článku	14
Obr. 2.3.5.1.	Fotovoltaický panel a jeho skladba	15
Obr. 2.3.6.1.	Transformátorový měnič SMA SB 3300	15
Obr. 2.3.8.1.	Regulátor nabíjení a blokové schéma zapojení	17
Obr. 2.4.1.1.	Větrná mapa České republiky	18
Obr. 2.4.2.1.	Schéma a popis větrné elektrárny	19
Obr. 2.5.1.1	Princip tepelného čerpadla	20
Obr. 2.5.3.1.	Příklady využití zdrojů tepla pro TČ	21
Obr. 2.6.2.1.	Dřevní brikety a peletky	22
Obr. 3.1.1.	Vizualizace řešeného RD	23
Obr. 3.2.1.	Energetická bilance domu	24
Obr. 3.3.4.3.	Půdorys RD s vyznačením neprůsvitných konstrukcí a výplní otvorů	29
Obr. 3.5.3.1.	Energetický štítek lednice používaný od roku 2010	41
Obr. 4.1.1.	Rozložení kolektorů a panelů na střeše řešeného objektu	44
Obr. 4.2.1.1.	Schéma solárního systému pro ohřev TUV	45
Obr. 4.2.4.1.	Kolektor SunWing T3	51
Obr. 4.2.5.1.	Solární systém stratoSOL DUO 6.10	53
Obr. 4.3.1.1.	Určení výšky a úhlu azimutu	55
Obr. 4.3.2.1.	Blokové schéma zapojení FV systému	56
Obr. 4.3.3.1.	Pohled na jihozápadní část střechy	58
Obr. 4.3.3.2.	Pohled na jihovýchodní část střechy	58
Obr. 4.3.5.1.	Nastavení aplikace PVGIS pro výpočet odhadu roční výroby elektrické energie z FV panelů jihozápadní větve	60
Obr. 5.1.1.1.	Vytápění v řešeném objektu	65
Obr. 5.1.2.	Schéma topné soustavy pro vytápění a ohřev TUV v řešeném objektu	66
Obr. 5.2.2.1.	zapojení a vedení kabelů FV panelů u jihozápadní větve	67
Obr. 5.2.2.2.	zapojení a vedení kabelů FV panelů u jihovýchodní větve	68
Obr. 5.2.3.1.	Schéma FV systému	68
Graf 4.2.6.1.	Bilance energií	54
Graf 4.3.5.1.	Odhad výroby FV panelů za rok	62

Seznam tabulek

Tab. 2.2.8.1 Orientační tabulka dimenzování solárních systémů pro TUV.	11
Tab. 2.3.10.1. Průměrné hodnoty el. energie, kterou jde získat z FV panelu s výkonem 110 W _p	17
Tab. 3.3.4.1. Parametry výplně otvorů.	27
Tab. 3.3.4.2. Parametry neprůsvitné konstrukce	28
Tab. 3.3.4.4. Měrná tepelná ztráta místnosti 101 – Zádveří.	30
Tab. 3.3.4.5. Vypočtené hodnoty tepelných ztrát všech místností.	31
Tab. 3.3.5.1. Okrajové podmínky výpočtu podle TNI 73 0329.	32
Tab. 3.3.5.2. Energie globálního slunečního záření podle světových stran (kWh/m ²).	32
Tab. 3.3.5.3. Konstrukce systémové hranice budovy	33
Tab. 3.3.5.4. Potřeba tepla na vytápění	33
Tab. 3.4.2.1. Potřeba TUV o teplotě 55 °C.	36
Tab. 3.4.2.2. Potřeba TUV pro 1 osobu na den (v bytovém objektu).	37
Tab. 3.5.2.1. Použitá svítidla v řešeném objektu a jejich denní spotřeba.	40
Tab. 3.5.4.1. Použité el. spotřebiče v řešeném objektu a jejich denní spotřeba	42
Tab. 3.6.1. Energie spotřebovaná řešeným objektem za rok.	43
Tab. 4.2.2.1. Průměrná teplota v solárních kolektorech.	46
Tab. 4.2.2.2. Srážka vlivem tepelných ztrát	47
Tab. 4.2.2.3. Střední teplota v době slunečního svitu	48
Tab. 4.2.4.1. Spotřeba energie v jednotlivých měsících.	49
Tab. 4.2.4.2. Technické parametry kolektoru SunWing T3	50
Tab. 4.2.4.3. Výpočet plochy kolektorů (apertury)	51
Tab. 4.2.5.1. Parametry solárního setu stratoSOL DUO 6.10	52
Tab. 4.2.6.1. Energetické hodnocení solárního systému	54
Tab. 4.3.2.1. Parametry FV panelu KD240GH-4YB	56
Tab. 4.3.2.2. Parametry střídače Fronius IG 40	57
Tab. 4.3.5.1. Odhadované množství vyrobené elektrické energie.	61
Tab. 4.3.5.2. Odhadované ztráty jednotlivých větví	61
Tab. 5.1.1.1. Parametry podlahového vytápění.	64
Tab. 6.1.1. Ceny dvou variant systémů	70
Tab. 6.2.1. Investiční náklady	72
Tab. 6.2.2. Výkupní ceny elektřiny (bez DPH) z FVE pro rok 2013	72
Tab. 6.2.3. Doba návratnosti investice FVE v řešeném objektu (ceny s DPH).	73

Seznam příloh

- Příloha č.1 – Tabulka hodnot skutečné denní dávka celkového slunečního ozáření $H_{T,den}$ (kWh/m²)
Příloha č.2 – Tabulka hodnot středního slunečního ozáření $G_{T,m}$ (W/m²)